

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**Experimentální studie výfukových emisí traktorového
motoru**

(Experimental study of exhaust emissions of tractor engine)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jan Mertlík

Květen 2013

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Katedra vozidel a motorů

Studijní program: B2341 Strojírenství

Obor: 2302R022 Stroje a zařízení

Zaměření: Dopravní stroje a zařízení

**Experimentální studie výfukových emisí traktorového
motoru**

(Experimental study of exhaust emissions of tractor engine)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KVM – BP – 294

Jan Mertlík

Vedoucí bakalářské práce: Michal Vojtíšek, M.Sc. Ph.D. – TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Martin Pechout – TU v Liberci, KVM

Počet stran: 80

Počet obrázků: 37

Počet tabulek: 19

Počet výkresů: 2

Květen 2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Jan MERTLÍK**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Obor: **2302R022 Stroje a zařízení**

Zaměření: **Dopravní stroje a zařízení**

Ve smyslu ZÁKONA č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

EXPERIMENTÁLNÍ STUDIE VÝFUKOVÝCH EMISÍ TRAKTOROVÉHO MOTORU

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

Cílem práce je experimentální zjištění výfukových emisí spalovacího motoru nesilničního vozidla, konkrétně zemědělského traktoru, v podmínkách reálného provozu, a porovnání provozních podmínek a výfukových emisí mezi různými režimy reálného provozu a homologačními zkouškami.

1. Pro práci vyberte vhodný typ vozidla a tento výběr konzultujte s vedoucím práce.
2. Stručně popište vývoj legislativy v oblasti emisí nesilničních motorů a technická řešení pro snižování emisí používaná u nesilničních motorů, se zaměřením na zvolený typ vozidla.
3. Stručně popište typické provozní podmínky zvoleného typu vozidla.
4. Ve spolupráci s vedoucím práce a konzultantem navrhnete zástavbu komponentů měřicí aparatury do vybraného vozidla.
5. Podílejte se na experimentálních měřeních provozních podmínek a emisí vybraného vozidla.
6. Zpracujte a vyhodnoťte výsledky měření. Posuďte vliv provozních podmínek na výfukové emise.



Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uvedte doporučenou odbornou literaturu):

1. Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů. ČVUT 1997
2. Řídicí systémy vznětových motorů. Bosch, 4. vydání. Str. 324-353
3. Směrnice evropského parlamentu ze dne 16. prosince 1997 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se opatření proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze spalovacích motorů určených pro nesilniční pojízdné stroje, Směrnice evropského parlamentu a rady 2004/26/ES ze dne 21. dubna 2004, kterou se mění směrnice 97/68/ES o sbližování právních předpisů členských států týkajících se opatření proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze spalovacích motorů určených pro nesilniční pojízdné stroje
4. Technická dokumentace k traktoru vybraného pro zkoušky

Vedoucí bakalářské práce:

Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D. - TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Martin Pechout - TU v Liberci, KVM



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

děkan

V Liberci dne 1. 11. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



Experimentální studie výfukových emisí traktorového motoru

Anotace

Obsahem této bakalářské práce jsou emise nesilničních motorů se zaměřením na produkci škodlivin vznětovými agregáty v zemědělských strojích a jejich experimentální měření v reálném provozu. V úvodu je rozebrána problematika a celkově teorie těchto emisí. Práce popisuje mechanismy jejich vzniku, dopady na životní prostředí a v neposlední řadě i technologie vytvořené ke snižování těchto polutantů z provozování vznětovými motory v zemědělských strojích (např. oxidační katalyzátory, EGR, SCR, DPF). Pro nesilniční motory, konkrétně pak pro traktory, jsou zde popsána současná legislativní omezení z pohledu emisí i s jejich vývojem v rámci EU. Dále je zde uvedena typická konstrukce traktorových motorů a provozní podmínky traktorů. Zmíněn je i podíl traktorů v rámci mobilních zdrojů škodlivých polutantů v ČR a porovnání s emisní legislativou silničních motorů. V posledních kapitolách jsou již obsažena samotná experimentální měření motoru za reálného provozu zemědělského traktoru. Testován byl poměrně nový agregát obsahující technologii selektivní katalytické redukce využívající kapalinu AdBlue a to při různých provozních podmínkách. Nedílnou součástí experimentu bylo navržení zástavby komponentů měřicí aparatury a vyhodnocení výsledků měření.

Klíčová slova: výfukové emise, nesilniční vozidlo, SCR (AdBlue), legislativa, reálný provoz

(Experimental study of exhaust emissions of tractor engine)

Abstract

The content of this bachelor's thesis are emissions of non-road engines focused on production of pollutants by diesel units in agricultural machines and their experimental measurements in real traffic. Problems and overall theory of these emissions are analysed in the introduction. Work describes the mechanism of their formation, the impacts on the environment and a technology created to reduce these pollutants from the operation of diesel engines in agricultural machines (for example oxidation catalyst, EGR, SCR, DPF). For non-road engines, especially for tractors, the current legislative restrictions from the perspective of emissions with their developments within the EU are described. There are also the typical structures of tractor engines and operating conditions. Share of tractors within mobile sources of harmful pollutants in the Czech Republic and a comparison with emission legislation of on-road engines is also mentioned. The last chapter contains a separate experimental measurement of engine during real operation of an agricultural tractor. We tested a relatively new aggregate, which contained selective catalytic reduction technology and uses AdBlue at different operating conditions. Inseparable part of the experiment was to design installation of the components of the measuring apparatus and the evaluation of results.

Key words : exhaust emissions, non-road vehicle, SCR (AdBlue), legislation, real traffic

Desetinné třídění:

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2013

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Michalu Vojtíškovi, M.Sc. Ph.D. za odborné vedení této práce a současně i konzultantovi mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Pechoutovi za poskytnutí důležitých podkladů, rad a informací.

Seznam symbolů a jednotek

W_i	indikovaná práce	[J]
k	koeficient absorpce	$[m^{-1}]$
G	jmenovitý průtok	$[l.s^{-1}]$
P	výkon	[kW, Hp]
n	otáčky	$[min^{-1}]$
ρ	hustota	$[kg.m^{-3}]$
t, T	teplota	$[^{\circ}C, K]$
p	tlak	[kPa, bar]
v	rychlost	$[km.h^{-1}, m.s^{-1}]$
t	čas	[s]
\dot{m}	hmotnostní průtok	$[kg.s^{-1}]$
\dot{V}	objemový průtok	$[m^3.s^{-1}]$
U	napětí elektrického proudu	[V]
M_{vz}	hodinová spotřeba vzduchu	$[kg.h^{-1}]$
η_d	dopravní účinnost	[-]
ε	kompresní poměr	[-]
V_{zm}	zdvihový objem motoru	$[m^3]$
r	měrná plynová konstanta	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$
τ	měrná plynová konstanta	[-]
n	látkové množství	[mol]
M	molární hmotnost	$[kg.mol^{-1}]$
\dot{n}	molární tok	$[mol.h^{-1}]$
CO_2		oxid uhličitý
H_2O		voda
CO		oxid uhelnatý
H_2		vodík
N_2		dusík
O_2		kyslík
NO_x		oxidy dusíku
NO		oxid dusnatý
HC		uhlovodíky

PM	pevné částice
C	uhlík
S	síra
NH ₃	amoniak
CO(NH ₂) ₂	močovina
CARB	California Air Resources Board
EPA	Environmental Protection Agency
EHK	Evropská hospodářská komise
OSN	Organizace spojených národů
EU	Evropská unie
USA	Spojené státy americké
NG	zemní plyn
LPG	propan-butanová směs
ESC	European Stationary Cycle
ELR	European Load Response
SCR	Selektivní katalytická redukce
DPF	filtr pevných částic
DOC	diesel oxidační katalyzátor
NRTC	Non-Road Transient Cycle
NRSC	Non-Road Steady Cycle
OBD	on-board diagnostic
EEV	enhanced environmentally friendly vehicles
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
MEŘO (FAME)	metylester řepkového oleje
EGR	systém recirkulace výfukových plynů
CCV (OCV)	uzavřený (otevřený) systém odvětrání klikové skříňe
REZZO	registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší

Obsah

1	Úvod	11
2	TEORIE EMISÍ	12
2.1	Složení výfukových plynů	12
2.2	Vznik jednotlivých složek a vliv na životní prostředí	13
2.3	Výfukové emise u vznětových motorů	18
3	LEGISLATIVA V OBLASTI EMISÍ U NESILNIČNÍCH MOTORŮ	21
3.1	Vývoj legislativy	21
3.2	Specifika u zemědělských a lesnických traktorů	28
3.3	Požadavky na paliva s ohledem na emise	31
3.4	Porovnání s legislativou silničních motorů	32
4	TECHNIKA OMEZOVÁNÍ VÝFUKOVÝCH EMISÍ NESILNIČNÍCH MOTORŮ ..	37
4.1	Technická řešení u nesilničních motorů	37
4.2	Technika snižování škodlivin u traktorů	38
4.3	Recirkulace výfukových plynů	40
4.4	Odvětrávání klikové skříně	42
4.5	Oxidační katalyzátory	44
4.6	Filtry pevných částic	45
4.7	Selektivní katalytická redukce	48
4.8	Řešení u jednotlivých výrobců	52
5	MOTORY V ZEMĚDĚLSKÝCH TRAKTORECH	53
5.1	Konstrukce	53
5.2	Typické provozní podmínky	55
5.3	Zastoupení v celkové produkci emisí spalovacích motorů	57
6	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	58
6.1	Zařízení k měření emisí	58
6.2	Výběr konkrétního typu traktoru	60
6.3	Zástavba komponentů měřicí aparatury	62

6.4	Realizace měření	65
7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....	68
8	ZÁVĚR	76
	Seznam použité literatury	77

1 Úvod

Se současným přístupem světových společností k životnímu prostředí, kdy se snaží co nejvíce snižovat vypouštění antropogenních škodlivých látek do ovzduší, se začaly klást vyšší nároky i na odvětví s menšími podíly na celkové vypouštění těchto látek. Mezi ně patří právě i nesilniční samojízdné mobilní stroje vybavené spalovacími motory.

Snižování množství vypouštěných emisí je zdoluhavý proces, postavený na vědecké činnosti a na vyjednávání společností, vlád, organizací a samotných výrobců strojů. Z vědecké činnosti vychází základní limitní hodnoty ustanovené legislativou. Veškeré spalovací motory se vyrábějí a testují v laboratorních podmínkách, schvalují se podle předepsaných cyklů a pod přísnou kontrolou příslušných orgánů. Reálný provoz však nelze přesně nasimulovat, z toho důvodu se provádí měření i v různých režimech skutečného provozu.

Vzorky nasbírané při měření emisí v reálném provozu širokého spektra typů strojů lze použít pro toxikologické rozborů složek emisí v závislosti na interakci s životním prostředím a na základě nich se vytvoří závěry, ze kterých vychází další legislativní úpravy týkající se emisí vypouštěných ze spalovacích motorů.

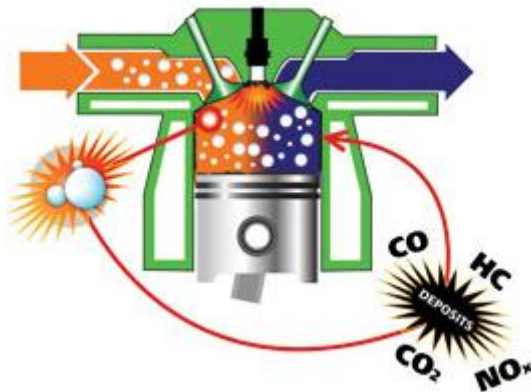
V této bakalářské práci bude postupně vysvětlena problematika výfukových emisí u méně probíraných, přesto četných strojů, a to nesilničních vozidel, traktorů. Dále legislativa Evropské unie, která tyto emise koriguje. A poslední část práce bude věnována experimentálnímu měření, které by mělo být i součástí studie zabývající se právě toxicitou emisí nesilničních vznětových motorů, především pevných částic.

2 TEORIE EMISÍ

2.1 SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Studium a experimentální měření složek spalín, tedy emisí ve výfukových plynech, je důležitou součástí k posuzování samotných reakcí uhlovodíkových paliv se vzduchem v motoru. Vznik jednotlivých složek totiž zapříčiňuje hoření ve spalovací komoře. Záleží na tom, zda jde o dokonalé hoření, nedokonalé, stechiometrické, nestechiometrické, hoření homogenní směsi či nehomogenní nebo jde o kombinaci jednotlivých typů, což je případ reálných podmínek. Vznik dalších složek emisí závisí také na faktorech úplného dohoření paliva, teplotě hoření a samozřejmě na provozních podmínkách, ve kterých motor pracuje. V řadě důvodů sledování polutantů je i znalost jejich složení s ohledem na životní prostředí a imise vznikající provozováním pístových spalovacích agregátů. Obsahové složení výfukových plynů se liší podle toho, zda jde o zážehový či vznětový motor.

Jednotlivé složky spadají do kategorií plyných, kapalných i pevných. Pokud se jedná o dokonalé hoření, tedy oxidaci uhlovodíkových paliv kyslíkem, byly by emitovány pouze oxid uhličitý CO_2 a voda H_2O . Nicméně z důvodů výše zmiňovaných se v plynech dále vyskytují oxid uhelnatý CO , vodík H_2 , díky nasávání atmosférického vzduchu dusík N_2 , který je v něm obsažen v největším podílu. Další je kyslík O_2 , z důvodu přebytku při spalování paliva. Obsaženy jsou i oxidy dusíku NO_x , nejvíce oxid dusnatý NO a v menším množství oxid dusičitý NO_2 . Dále se v plynech nachází nespálené uhlovodíky HC , vlivem jejich dekompozice pevný uhlík v podobě sazí a v malém množství pevné částice PM , jako jsou vysokomolekulové produkty tepelné degradace mazacího oleje, popel, prach, rez apod. /1/



Obr. 1 Vznik emisí u zážehového motoru /2/

2.2 VZNIK JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK A VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

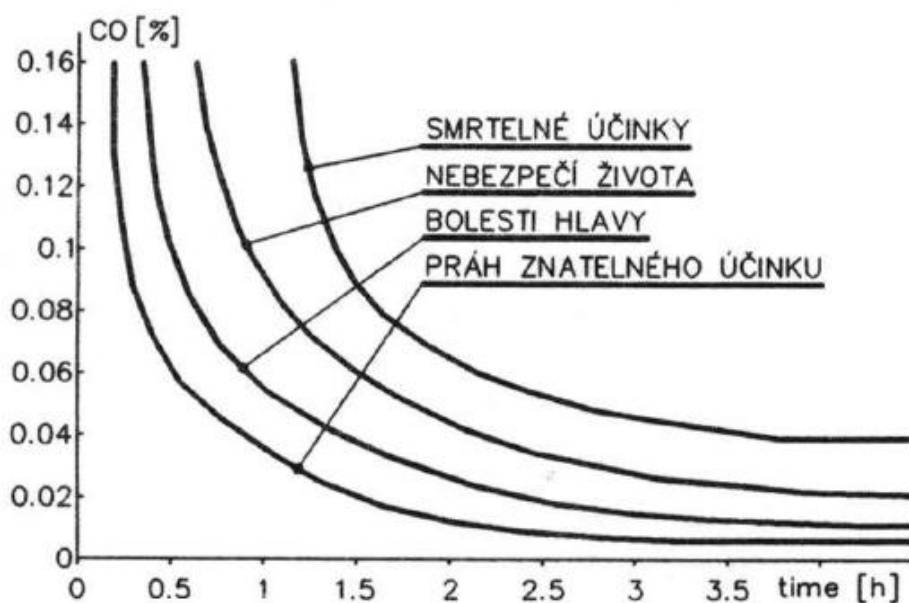
V současnosti nejvíce sledovanou složkou výfukových plynů v dopravě a legislativě pojednávající o emisích je **oxid uhličitý** CO_2 . Vzniká při dokonalé oxidaci uhlovodíkových paliv (uhlíku C) **vzdušným kyslíkem** O_2 a patří mezi hlavní ukazatele dokonalého průběhu spalovacího procesu. Jedná se o nejdovatý bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je těžší nežli vzduch. Určitá část oxidu uhličitého nepochází přímo ze spalovacího prostoru, ale následnou přeměnou CO v katalyzátoru právě na CO_2 . Zaváděním katalyzátoru do výfukového potrubí automobilu před cca 25 lety se částečně vyřešil problém jedovatého oxidu uhelnatého. Problém současné doby je s oxidem uhličitým. /3/

Pro člověka je neškodný, dokud ho není takové množství, že zamezí přísunu vzduchu do plic. Prokazatelně se spolu s dalšími látkami podílí na vzniku skleníkového efektu, tedy zamezování sdílení tepla sáláním ze Země do vesmíru. Skleníkový efekt má za následek globální oteplování. Antropogenní podíl CO_2 je odhadován přibližně o jeden řád nižší, nežli je ten přírodní, z toho z provozování spalovacích motorů je to však cca 13 %. Pokud bychom chtěli snížit emisi CO_2 , nelze postupovat skrze zmenšování poměru uhlíku vůči kyslíku, protože tento nedostatek se projevuje vznikem jiných látek, které by stejně oxidovaly na CO_2 . Snížení produkce CO_2 lze docílit jen snížením spotřeby paliva nebo použitím paliv s nižším obsahem uhlíku. /1/

Při nedokonalém spalování vzniká vlivem nedostatku kyslíku **oxid uhelnatý** CO, tedy při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$ (bohatá směs). Vlivem bohaté směsi dochází k emisi oxidu uhelnatého v řádech jednotek %, výjimečně v extrémech 10 %. K nedostatku kyslíku při oxidaci paliva může docházet místně, tedy z důvodu špatně promíchané směsi ve spalovacím prostoru, nebo časově, kdy vlivem fluktuace poměru směsi palivo v dané pracovní oblasti, pro kterou je směs určena, nedohoří. Možný je i nedostatek kyslíku vlivem globálních podmínek, tedy nedostatek vzdušného kyslíku obsaženého v atmosféře. Tyto jevy spadají do hmotově-bilančních příčin vzniku CO. Dalšími mechanismy tvorby CO, ale řádově v daleko menším množství v porovnání s předešlým typem, jsou chemicko – termodynamický a reakčně – kinetický. Chemicko – termodynamický proces funguje ve zkratce tak, že se přírodní síly brání stále se zvyšující teplotě spalování při stále se zvyšující

spotřebě vstupních látek snižováním produktů oxidace a upravují jednotlivé dílčí chemické reakce tak, aby docházelo k ustálení a nastal rovnovážný stav. Za tohoto stavu a vysoké teploty je i vysoká rychlost těchto reakcí. Při následné expanzi, teplota a tím i rychlost chemických reakcí klesá a následkem toho již nedochází k úplné dodatečné oxidaci CO a ten odchází spolu s ostatními produkty spalování do atmosféry (popř. dále do výfukového potrubí a jeho jednotlivých částí). V případě reakčně – kinetického typu jde o proces, kdy vlivem nízkých teplot a tím i nízkých reakčních rychlostí nedojde k úplné konečné reakci. Interakce složek směsi se zastaví v místě, kdy se má přeměnit CO na CO₂. K této fázi dochází vlivem velmi chudé směsi ($\lambda > 1$) a v místech s nízkou reakční teplotou (kanály, stěny spalovacího prostoru apod.).

Oxid uhelnatý je jedovatý pro lidský organizmus, váže se za přítomnosti karboxylhemoglobinu na červené krvinky, které okysličují veškeré orgány, intenzivněji nežli kyslík a tak dochází při jeho dostatečné koncentraci k odumírání orgánů. Vliv na zdraví člověka v závislosti na jeho koncentraci a době expozice popisuje obr. 2. Oxid uhelnatý zároveň zapříčiňuje i vznik tzv. letního smogu v obdobích inverze. Produkce antropogenního CO je srovnatelná s tou přírodní a v případě spalovacích motorů to jsou z lidské produkce “pouhé” desítky procent.



Obr. 2 Účinek oxidu uhelnatého na lidský organizmus /1/

Obdobnými způsoby, jako je tomu u vzniku CO, se tvoří i **nespálené uhlovodíky HC**. Nejznámější jsou parafiny, olefiny nebo aromatické uhlovodíky a částečně spálené aldehydy, ketony. /6/ Z části jde i o malé částice nespáleného paliva, ke kterým se nedostane oxidující kyslík. To díky příliš velkým kapkám rozptýleného paliva ve spalovacím prostoru nebo v případě vnější tvorby směsi zkratovým vyplachováním. Tím dochází k energetickým ztrátám v podobě odvádění paliva (HC) ve výfukových plynech do atmosféry. Příklad reakčně-kinetického mechanismu vzniku HC je co do vyprodukovaného množství srovnatelný s mechanismem hmotově-bilančním. Při chudé směsi vzniká přibližně stejné množství jako při bohaté směsi. Opět jsou příčinou vzniku uhlovodíků ve velké části místa spalovacího prostoru s nízkou teplotou, tzv. zhašecí zóny. Vyprodukované množství při chemicko-termodynamickém procesu je zanedbatelné. V případě reakčně-kinetického mechanismu vznikají uhlovodíky i z oxidace mazacího oleje, který se objevuje ve spalovacím procesu, avšak v minimálním množství.

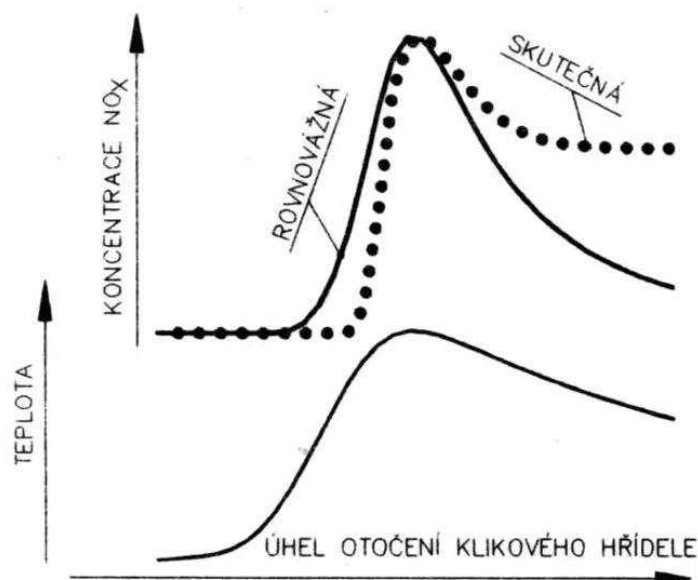
Nespálené uhlovodíky se skládají z dílčích látek, které jsou každá jinak nebezpečná pro životní prostředí a člověka. Nejméně škodlivé pro člověka jsou uhlovodíky emitované přímo z paliva. Škodlivé množství se měří plameno-ionizačním detektorem. Nebezpečné jsou uhlovodíky vzniklé během spalování. Jsou dráždivé na sliznicích a očích, poškozují dýchací cesty a to i při kratších expozičních dobách. Zároveň jsou prokazatelně karcinogenní. Uhlovodíky jako jsou ketony a aldehydy mají za následek vznik letního smogu. Koncentrace uhlovodíků v neznečištěné přírodě je přibližně 0,01ppm (parts per milion), kdežto ve městech, kde jsou hlavním zdrojem uhlovodíků právě automobily, to je 1 - 3ppm.

Spolu se vzdušným kyslíkem se do spalovacího prostoru dostává i vzdušný dusík, z kterého následnou oxidací vznikají **oxidy dusíku NO_x**. Jedná se o endotermickou reakci, která je součástí zmiňovaného mechanismu, kterým se přírodní síly brání zvyšování teploty. Hlavním důvodem přítomnosti oxidů dusíku ve výfukových plynech je vysoká ustálená koncentrace oxidu dusnatého za vysokých teplot pracovního oběhu a následné snížení rychlosti rozkladu tohoto oxidu při snižování teploty ve válci. Toto snížení rychlosti je tak extrémní, že se koncentrace tzv. "zmrazí". Snižováním teploty se snižuje také maximum rovnovážné koncentrace a celkově tvorba NO. Obr. 3 popisuje velikost koncentrace oxidu dusnatého v závislosti na teplotě a v daném pracovním cyklu. I u tvorby NO se projevuje reakčně-kinetický

mechanismus tvorby složek spalín, jen s tím rozdílem, že k reakcím, kde jsou produktem oxidy dusíku, vlivem vysokého přebytku vzduchu nedochází v takovém množství. Energie vzniklá rozkladem NO je pro celkovou účinnost motoru zanedbatelná. Z těchto informací plyne, že jakkoliv se zvýší indikovaná účinnost motoru, tak se zvýší i celková emise NO_x .

Co se týká škodlivosti, není oxid dusnatý pro lidský organizmus příliš nebezpečný. Nebezpečný se stává až oxid dusičitý, který se přemění z NO díky delší expozici v atmosféře. Zároveň je emitován NO_2 i samostatně ve výfukových plynech. Oxid dusičitý škodí obdobným způsobem jako oxid uhelnatý, je však nebezpečnější, v případě obr. 2 se křivky účinků na lidský organizmus posouvají blíže směrem k počátku souřadného systému (nebezpečný při kratší expoziční době a nižší koncentraci). Škodlivý je z důvodu reakce organismu v podobě zamezení příjmu dalšího otráveného vzduchu do plic. Člověk se následně začíná dusit. Oxidy dusíku spadají mezi sledované složky emisí a to díky jejich přičinění při tvorbě letního smogu. Co se týká relativních podílů oxidů dusíku vzniklých činností člověka a podílu spalovacích motorů, jsou hodnoty obdobné jako u CO . Důležitým aspektem měření, typickým pro oxidy dusíku, je měření obou složek najednou.

Na produkci nespálených uhlovodíků navazuje tvorba **pevného uhlíku C** (pevné částice PM) ve válci, který je dále součástí výfukových plynů ve formě sazí.



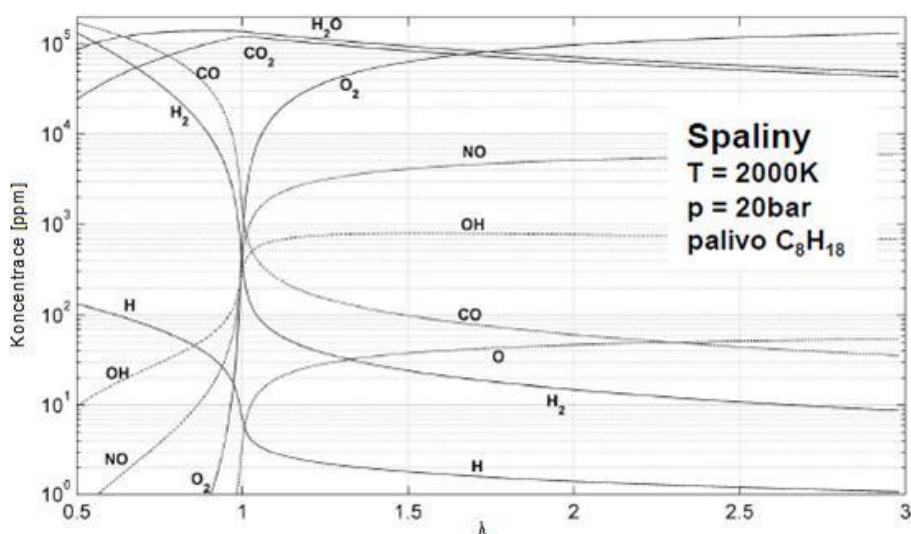
Obr. 3 Hodnoty koncentrací NO ve válci /1/

V případě, kdy vznikají nespálené uhlovodíky díky nedostatečně rozprášenému palivu či extrémně bohaté směsi ($\lambda < 1$), a to jak místně tak globálně, se vysokou teplotou *HC* degradují právě na pevné částice.

Částice elementárního uhlíku nejsou pro lidský organizmus nijak škodlivé, jsou však nosičem pro karcinogenní látky, např. polycyklické aromáty. Tyto pevné částice se pak usazují v plicích a způsobují právě rakovinu. Dále pevné částice způsobují vznik zimního smogu při teplotní inverzi. Emitované pevné částice spalovacího motoru způsobují při vyšších koncentracích vizuální efekt tzv. "černě kouřícího vozidla".

Nežádoucí účinky na lidský organizmus a životní prostředí celkově nepocházejí jen z jednotlivých dílčích složek výfukových plynů, které jsou uvedeny výše, ale díky interakcím a superpozicím mezi těmito složkami vznikají další problémy týkající se jak emisí, tak i imisí. Příkladem může být místní zvýšení imisí CO_2 nebo NO_2 , kdy je člověk následně nucen přijímat více vzduchu do plic, s kterým logicky vdechuje i více škodlivin.

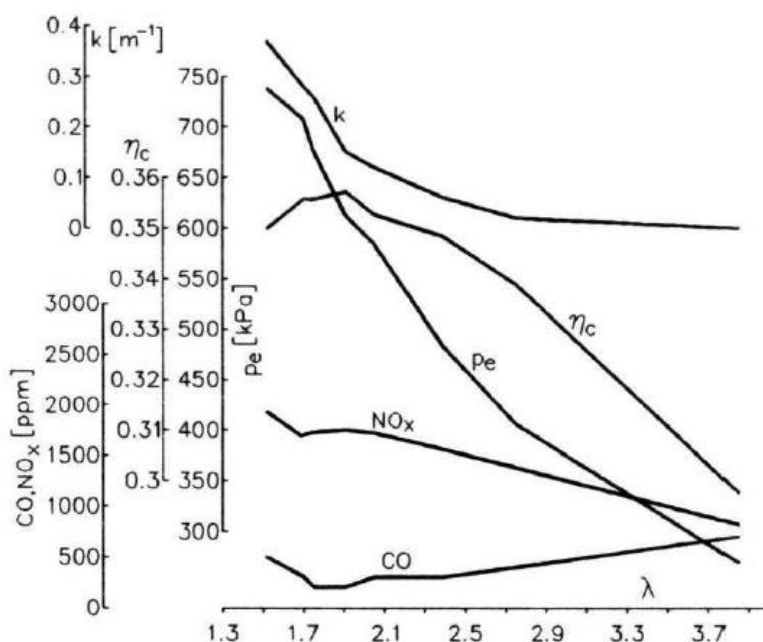
K určení škodlivé koncentrace jednotlivých složek spalin může sloužit například metoda "větracího faktoru", kdy se zjišťuje, jaké množství čerstvého vzduchu je klimatizační jednotkou potřeba přivést do místnosti se spalovacím motorem v chodu, aby bylo docíleno přípustné hygienické meze koncentrace povolené pro vdechování člověkem. Zaznamenává se nejvyšší množství vzduchu, které je potřeba k naředění nejškodlivější složky (nejvyšší koncentrace), ostatní složky již jsou tímto vzduchem dostatečně naředěny. /1/



Obr. 4 Koncentrace jednotlivých složek spalin u oktanu (představitel benzínu) /4/

2.3 VÝFUKOVÉ EMISE U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Vznětové motory jsou řízeny kvalitativně, tedy složením směsi vzduchu a paliva (motorová nafta). Od toho se odvíjí i produkce jednotlivých složek výfukových plynů. Pracují se součinitelem přebytku vzduchu v rozmezí vyšším než 1 až po přibližně 10. Extrémně chudá směs odpovídá volnoběžným otáčkám motoru při běhu naprázdno. Při těchto otáčkách dochází k vyšší tvorbě CO , to je zapříčiněno horším spalováním právě s vysokým obsahem kyslíku ve směsi. Naopak nízká koncentrace je při této směsi u NO_x , nižší je z důvodu nedostatku tepla k reakci. U obou těchto složek hraje roli reakčně-kinetický mechanismus jejich vzniku. Díky dostatku kyslíku je v tomto pracovním cyklu i vznik HC a pevných částic značně omezen. Pokud se však začne zvyšovat zatížení motoru a tím i střední efektivní tlak p_e snižováním přebytku vzduchu, začne růst koncentrace pevných částic, oxidů dusíku a naopak klesne produkce oxidu uhelnatého. Závislosti vlastností motoru na koncentracích všech zmíněných polutantů vyobrazuje obr. 5, jedná se o vlastnosti vznětového motoru plněného atmosférickým vzduchem.



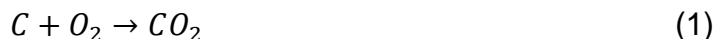
Obr. 5 Koncentrace složek spalín v celém spektru zatížení motoru /1/

Pevné částice jsou zde určeny absorpčním součinitelem k , který vyjadřuje skrze vzorec množství pevných částic naměřené tzv. opacimetrem, který pracuje na principu měření úbytku záření vyslaného přes proud výfukových plynů. U nejnižších

hodnot součinitele přebytku vzduchu dochází opět k nárůstu emise CO zároveň s prudším nárůstem pevných částic i NO_x . Způsobeno je to nižším přebytkem vzduchu a nedostatečnou homogenitou směsí. U oxidů dusíku pak ještě vysokou teplotou spalování (zmrazování koncentrace).

Vhodný prostředek pro snížení emisí je využití přeplňování plnicím vzduchem a zároveň jeho chlazení, kterým se docílí jak vyšší střední efektivní tlak, tak vyšší přebytek vzduchu. Kladně se tato úprava projevuje i u energetických vlastností. Další úpravy, které lze využít u vznětových motorů k lepším emisním hodnotám a energetickým vlastnostem, se mohou týkat také spalovacího prostoru, jeho tvaru, uzpůsobení k pohybu náplně při spalování (tvar dna pístu) nebo způsobu vstřikování paliva. Současný trend u vznětových motorů je vstřikovat palivo pod stále větším tlakem a ve více fázích v jednom cyklu hoření. S tím souvisí i úprava tvaru a počtu otvorů vstřikovací trysky, kterými palivo vstupuje do spalovacího prostoru, a samozřejmě i technologie dopravující palivo. /1/

Dokonalé hoření popisují dvě chemické rovnice (1) a (2). Produkty takového hoření jsou oxid uhličitý CO_2 a voda H_2O .



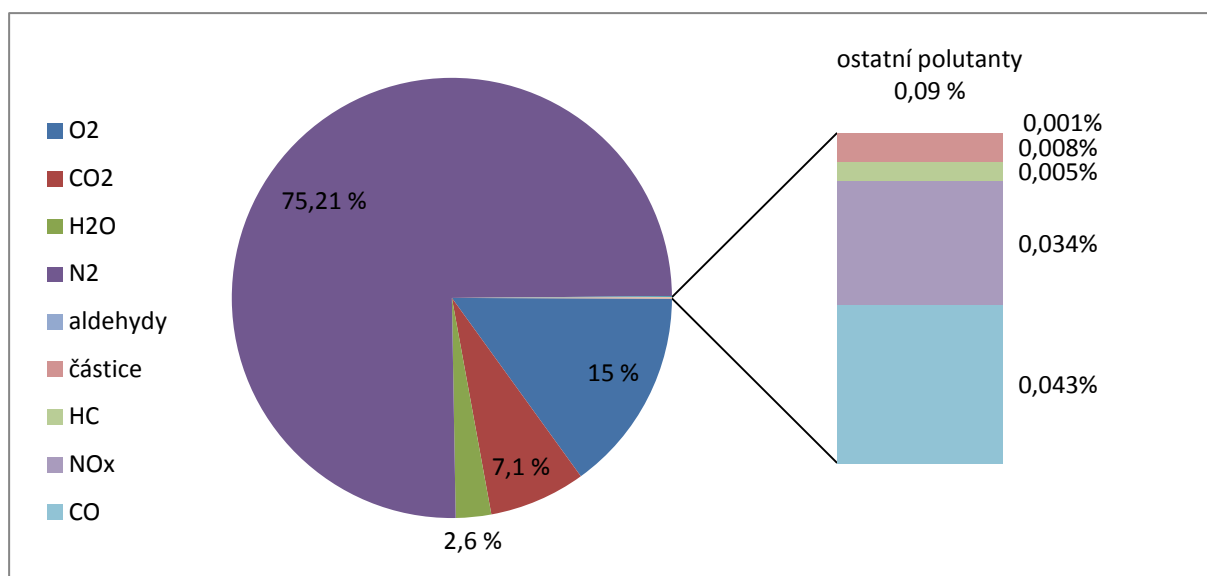
Z toho vyplývá, pokud známe relativní atomové hmotnosti jednotlivých prvků, že pro spálení 1 kg uhlíku je zapotřebí 2,67 kg kyslíku a pro 1 kg vodíku 8 kg kyslíku. Výsledkem hoření jsou produkty o hmotnosti 3,67 kg oxidu uhličitého a 9 kg vody H_2O . Pístové spalovací motory však pracují s atmosférickým vzduchem, ve kterém je kyslík obsažen. Jelikož je hmotnostní podíl kyslíku ve vzduchu přibližně 23 %, tak to znamená, že pro spálení 1 kg uhlíku je dle rovnice (3) teoretická spotřeba vzduchu 11,61 kg a pro 1 kg vodíku dle (4) to je 34,78 kg.

$$L_{vt} = \frac{2,67}{23} \cdot 100 = 11,61 \text{ kg} \quad (3)$$

$$L_{vt} = \frac{8}{23} \cdot 100 = 34,78 \text{ kg} \quad (4)$$

Protože se motorová nafta skládá z 86 % C, 14 % H_2 , 0,02 % H_2O , 0,001 % S a 0,0024 % nečistot, lze stanovit množství vyprodukovaných látek. /5/ Pro 1 kg motorové nafty je to v případě jednoduchých idealizovaných chemických rovnic (1) a (2) 3,16 kg CO_2 , 1,26 kg H_2O a spotřebuje se 3,42 kg O_2 , což odpovídá teoretické spotřebě vzduchu 14,85 kg. To tedy platí pro idealizované dokonalé spalování a spalování každé ze složek paliva zvlášť. Do energetické bilance sloučeniny (paliva)

se začleňuje ještě tzv. slučovací teplo. /7/ Dále se ve skutečném ději produkují ostatní výše zmíněné složky výfukových plynů, jako jsou zbytkový kyslík, dusík, oxidy dusíku, CO, pevné částice atd. Za nejškodlivější složku těchto výfukových plynů se považují pevné částice. V porovnání se škodlivostí CO to jsou násobky desítek. Další jsou oxidy dusíku, také s desetinásobnou škodlivostí, a nespálené uhlovodíky se škodlivostí v násobcích jednotek. /6/ V grafu na obr. 6 jsou znázorněny jednotlivé podíly emisí u vznětového motoru v částečném zatížení a bez dodatečné úpravy spalin. Škodlivé složky těchto emisí lze snížit až o 90 % při použití dodatečné úpravy spalin formou katalytických reduktorů a filtrů pevných částic.



Obr. 6 Typické složení emisí vznětového motoru /8/

3 LEGISLATIVA V OBLASTI EMISÍ U NESILNIČNÍCH MOTORŮ

3.1 VÝVOJ LEGISLATIVY

Postupem času, kdy se začalo stále více využívat spalovacích motorů, a to jak v automobilovém průmyslu, tak i v ostatních odvětvích lidské činnosti, a s novým trendem ochrany životního prostředí přišla i první nařízení jednotlivých světových společenství s hlavní intencí omezit škodliviny vypouštěné do ovzduší právě těmito motory. Legislativní omezení se nevztahují samozřejmě pouze na emise vypouštěné spalovacími motory, ale postupně na veškeré antropogenní emise, a to jak plynné, pevné či kapalné, tak i například zvukové emise. Průkopnickým v omezování výfukových emisí automobilů byl americký stát Kalifornie, který měl vždy velké problémy s letním smogem. V roce 1960 zavedl první legislativní omezení pro benzínové automobily, která se v dalších letech postupně zpříšňovala a začaly je zavádět i ostatní průmyslové země světa v již sofistikovaných formách definující hranice, jakožto i postupy k dosažení shody. Mezi světové společenství či organizace určující tyto právní omezení patří CARB (California Air Resources Board) ve státě Kalifornie a v dalších státech severní Ameriky, EPA (Environmental Protection Agency) ve zbytku USA, EHK OSN, což je Evropská hospodářská komora, pod kterou spadá EU (evropská unie) a samostatnou určující legislativu má i Japonsko. /8/ Přes všechna tyto rozdělení se jednotlivé legislativy do jisté míry shodují a to proto, aby výrobci nemuseli pro každý trh upravovat individuálně nastavení nových motorů.

Omezení týkající se motorů přijímají jednotlivé vlády do své legislativy v celém či částečném znění nebo s odkladem platnosti. Záleží, do jaké míry je jím toto právo vyhrazeno. Přijímají jej od zmíněných společenství právě podle toho, ke kterému stát patří. Jde o nastavené normované limity pro jednotlivé typy motorů, které by měli výrobci splňovat před uvedením stroje na trh. Přičemž je jasné stanoveno, u jakého typu motoru s přesně nastavenými parametry, co která omezení znamenají, jak vypadají a jaké maximální hodnoty jednotlivých složek výfukových emisí vymezují. /6/

Země se zákony omezujícími emisní limity motorových vozidel rozděluje vozidla do základních kategorií. První kategorie jsou osobní automobily, zde se provádí měření emisí na dynamometru. Druhá kategorie jsou lehká užitková vozidla, do které

spadají, podle daných vnitrostátních předpisů vozidla s hrubou hmotností do 3,5 až 6,35 tuny. Testování opět probíhá na dynamometru. Do třetí kategorie spadají těžká nákladní vozidla s hrubou hmotností nad 3,5 až 6,35 tuny. Testování motoru se provádí na speciální stoličce určené pro daný motor. Netestuje se vestavěný do vozidla. Poslední kategorií jsou nesilniční pojízdné stroje, u kterých se také testují motory zvlášť na speciální stoličce. /8/ Do této poslední kategorie spadají zemědělské a lesnické traktory, lodě, železniční lokomotivy, stavební stroje, stroje pro manipulaci, samojízdné zemědělské stroje atd. /9/

Evropská hospodářská komora, pod kterou spadá i Česká republika, je orgán OSN založený v roce 1947 a zabývá se ekonomickou spoluprací členských států, kterých je 56 a patří mezi ně i státy severní Ameriky a Asie. Do práce komory spadá i ochrana životního prostředí. Česká republika je jedním ze zakládajících členů EHK OSN a řídí se i jejími ustanoveními v podobě jednotlivých směrnic. /10/

Jako první směrnice upravující emise kolových zemědělských a lesnických traktorů (dále jen traktory) byla přijata v roce 1974 směrnice Evropského parlamentu a rady 74/150/EHS. Toto nařízení harmonizovalo technické požadavky na tyto stroje v jednotlivých členských státech a týkalo se schvalování typů traktorů. Postupně byla zmíněná směrnice upravována dalšími novelami až do roku 1989, celkem 22. K ochraně životního prostředí byla přijata opatření obsažená ve směrnici Rady 77/537/EHS, v té byly předepsány postupy proti výfukovým emisím ze vznětových motorů traktorů. Další důležitým dokumentem Rady byla směrnice 88/77/EHS o sbližování právních předpisů členských států týkajících se emisí vznětových motorů vozidel všeobecně. V roce 2000 byla sepsána nová směrnice Evropským parlamentem a radou 2000/25/ES, která upravuje tu předchozí z roku 1974 a která se týká emisí plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic motorů pohánějících traktory. /11/ Novelizována byla 2005/13/ES. Tento předpis respektuje předchozí z roku 1988 o vznětových motorech a odkazuje na metodiku ze směrnice 97/68/ES novelizovanou 2004/26/ES a přizpůsobenou technickému pokroku 2010/26/EU, která se zaměřuje na emise nesilničních pojízdných strojů, do níž však nejsou začleněny traktory jako takové, pro které je sepsána právě samostatná výše zmíněná novelizovaná směrnice. Zároveň tato novelizovaná směrnice z roku 2005 upravuje směrnici 2003/37/ES, ta předepisuje schvalování typu traktorů a také ruší tu z roku 1974. /12/

Směrnice sjednocující právní předpisy schvalování o nesilničních motorech z roku 1997 předepisuje přesné postupy pro dané orgány členských států, jak schvalovat jednotlivé skupiny motorů, odborné postupy a metodiky typizování, způsob podávání žádostí výrobců vozidel o schválení a uvedení na trh motoru či rodiny motorů. Rodina motorů je skupina typově stejných motorů, tím mají i shodné emisní hodnoty. Podobnost je přesně definována taktéž touto normou. Tato směrnice, jak je zmíněno výše, nezahrnuje samostatně sepsané postupy schvalování pro traktory, kterým jsou věnovány právě směrnice z let 2000 a 2005. Přesto ze směrnice o nesilničních motorech přímo vychází a odkazují na její metodiku měření emisí a limitní hodnoty, které jsou shodné jak pro traktory, tak všechny nesilniční motory. /9/ 2000/25/ES a 2005/13/ES obsahují dále např. způsob označování schválených typů motorů specifickými kódy. Dalšími procesy zkoušek pak prochází i motory již zakomponované do vozidla a to pro kontrolu, aby technická zařízení, kterými jsou motory opatřeny a uchyceny ve vozidle, nijak neovlivňovala emisní hodnoty výfukových emisí (podtlak či tlak v sání, protitlak ve výfuku). Pro testování a celý schvalovací postup se vybírají motory z rodin motorů, které vykazují nejvyšší spotřeby pohonných hmot při nejvyšších krouticích momentech, a tím nejvyšší emise výfukových plynů a pevných částic. /11/ Směrnice 97/68/ES začala nastavovat první etapy limitujících hodnot emisí pro jednotlivé kategorie motorů od roku 1998 a postupně se novelami této směrnice limity zpřísňují nadále. Obdobně jako je tomu v Evropě, jsou zaváděny limity po jednotlivých etapách i ve světě. V USA jsou etapy označovány jako stupně Tier, v Evropě Stupeň nebo Phase. /6/

Kategorie motorů jsou ve směrnici 97/68/ES rozděleny podle výkonu od 18 kW do 560 kW tab. 1.

Kategorie:	Výkon (kW):
Etapa I:	
A	130 - 560
B	75 - 130
C	37 - 75
Etapa II:	
D	18 - 37
E	130 - 560
F	75 - 130
G	37 - 75

Tab. 1 Kategorie motorů podle výkonů a etap /9/

Jedná se o výkon motoru efektivní naměřený dynamometrem na klikovém hřídeli.

Pro první etapu jsou emisní limity stanoveny tak, že předepsané hodnoty musí motory splňovat před vstupem do jakéhokoliv zařízení pro dodatečnou úpravu spalin. Sledované a směrnici upravované plynné složky jsou oxid uhelnatý CO , oxidy dusíku NO_x , uhlovodíky HC a pevnou složkou jsou znečišťující částice PM . Limity se uvádí v $g.kWh^{-1}$. Limity a data uvedení v platnost jsou pro Etapu I a Etapu II uvedeny taktéž směrnici z roku 1997, viz tab. 2 a tab. 3.

Kategorie motoru:	Oxid uhelnatý CO ($g.kWh^{-1}$):	Uhlovodíky HC ($g.kWh^{-1}$):	Oxidy dusíku NO_x ($g.kWh^{-1}$):	Pevné částice PM ($g.kWh^{-1}$):	Platnost po:
A	5,0	1,3	9,2	0,54	30. červnu 1998
B	5,0	1,3	9,2	0,70	
C	6,5	1,3	9,2	0,85	

Tab. 2 Limitní hodnoty emisí a data platnosti Etapa I /9/

Kategorie motoru:	Oxid uhelnatý CO ($g.kWh^{-1}$):	Uhlovodíky HC ($g.kWh^{-1}$):	Oxidy dusíku NO_x ($g.kWh^{-1}$):	Pevné částice PM ($g.kWh^{-1}$):	Platnost po:
D	3,5	1,0	6,0	0,2	31. prosinci 1999
E	5,0	1,9	6,0	0,3	31. prosinci 2000
F	5,0	1,3	7,0	0,4	31. prosinci 2001
G	5,5	1,5	8,0	0,8	31. prosinci 2002

Tab. 3 Limitní hodnoty emisí a data platnosti Etapa II /9/

Důležitá je možnost správního orgánu státu odložit uplatňování těchto požadavků na motory, které byly zavedeny do výroby před datem uvedení v platnost jednotlivých etap, na další dva roky. Schválení motorů pro výrobu končí dnem zavedení další etapy. Dále jsou ve směrnicih spolu s výše uvedenými daty uvedena data, po kterých již není možné přivést na trh motory, pro které byla vydána shoda ještě před zavedením nových limitů. Tato data jsou stanovována přibližně o 6 měsíců až rok déle. Směrnici z roku 1997 bylo i nastaveno, že Evropský parlament měl rozhodnout na základě informací od komise o dalších emisních limitech do konce roku 2000. /9/

Novelizovanou směrnicí z roku 2004 bylo evropskou komisí předepsáno další snižování výfukových emisí nesilničních motorů z důvodu navázání na postupné snižování emisí antropogenních látek a zlepšování kvality ovzduší. Příčinou jejího sepsání a zavedení byl i pokrok v technologiích dodatečné úpravy spalin motorů a snaha o jejich masové využití u nesilničních motorů. Spolu s touto novelou přešly požadavky i na palivo, viz níže, a to konkrétně na snižování obsahu síry v něm, která působí nepříznivě na některé systémy dodatečné úpravy, tedy konkrétně např. na filtry pevných částic, u kterých snižuje jejich účinnost. Další intencí komise byl požadavek na celoživotní dodržení emisních limitů motoru. Nově bylo povoleno výrobcům v "přechodném režimu" mezi dvěma etapami uvést na trh omezené množství motorů, které mohly plnit limity předchozí etapy. Pravidlům týkajícím se přechodného režimu v současnosti se věnuje pozměňovací návrh evropského parlamentu z roku 2011, který mění předpisy směrnice 97/68/ES, resp. její novelu. Novelou jsou určeny další etapy zavádění emisních limitů a určeny nové kategorie výkonů motorů, především se začal klást důraz i na vnitrozemská plavidla. Kategorie byly opět rozděleny dle výkonu nejméně 19 kW avšak ne více nežli 560 kW, a dle nových etap, dále podle toho, zda motory pracují za konstantních otáček či nikoliv, zda jde o motory do lodí, lokomotiv nebo ostatních nesilničních pojízdných strojů, a zvláštní kategorií jsou pak motory určené pro pohon motorových vozů. Pro tuto práci budou důležité kategorie, do kterých spadají traktorové motory tab. 4.

Kategorie:	Výkon (kW):
Etapa IIIA:	
H	130 - 560
I	75 - 130
J	37 - 75
K	19 - 37
Etapa IIIB:	
L	130 - 560
M	75 - 130
N	56 - 75
P	37 - 56
Etapa IV:	
Q	130 - 560
R	56 - 130

Tab. 4 Kategorie motorů podle výkonů a etap /13/

Nově zde byly sjednoceny pro Etapu IIIA a částečně Etapu IIIB hodnoty uhlovodíků HC a oxidů dusíku NO_x . Velikosti limitujících hodnot pro další etapy a data jejich zavádění dané novelizovanou směrnicí pro nesilniční motory využívané v traktorech jsou popsány tab. 5, tab. 6 a tab. 7.

Kategorie motoru:	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹):	Součet uhlovodíků HC a oxidů dusíku NO_x (g.kWh ⁻¹):	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹):	Platnost po:
H	3,5	4,0	0,2	30. červnu 2005
I	5,0	4,0	0,3	31. prosinci 2005
J	5,0	4,7	0,4	31. prosinci 2006
K	5,5	7,5	0,6	31. prosinci 2005

Tab. 5 Limitní hodnoty emisí a data platnosti Etapa IIIA /13/

Kategorie motoru:	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹):	Uhlovodíky HC (g.kWh ⁻¹):	Oxidy dusíku NO_x (g.kWh ⁻¹):	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹):	Platnost po:
L	3,5	0,19	2,0	0,025	31. prosinci 2009
M	5,0	0,19	3,3	0,025	31. prosinci 2010
N	5,0	0,19	3,3	0,025	31. prosinci 2010
		Součet uhlovodíků HC a oxidů dusíku NO_x (g.kWh ⁻¹):			
P	5,0	4,7		0,025	31. prosinci 2011

Tab. 6 Limitní hodnoty emisí a data platnosti Etapa IIIB /13/

Kategorie motoru:	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹):	Uhlovodíky HC (g.kWh ⁻¹):	Oxidy dusíku NO_x (g.kWh ⁻¹):	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹):	Platnost po:
Q	3,5	0,19	0,4	0,025	31. prosinci 2012
R	5,0	0,19	0,4	0,025	30. září 2013

Tab. 7 Limitní hodnoty emisí a data platnosti Etapa IV /13/

Opět bylo předepsáno touto směrnicí určit komisi, která by do konce roku 2007 zhodnotila průběh realizace nastavených limitů a postupů. Zahrnovalo to kontrolu

stavu využití nových technologií pro plnění limitů, a zda je i reálné v rámci výrobců motorů limity plnit. Bylo zapotřebí zároveň posoudit potřebu zavedení nových tříd motorů a k nim popř. příslušné limity pod výkon 19 kW a nad výkon 560 kW. Komise měla vyhodnotit dostupnost paliv pro Etapy IIIB a IV a také, pokud by existovaly provozní podmínky motorů, za kterých by byly překročeny maximální přípustné procentní povolené hodnoty, tak aby byla popř. upravena směrnice a procenta byla navýšena. Dále bylo zapotřebí zjistit, zda nedochází k obcházení pravidel pro měřicí cykly apod. Nezbytnou součástí směrnice bylo i nařízení, aby členské státy předepsaly sankce za porušování jejich nařízení a dohlížely na její dodržování. /13/

Směrnice upravující emise nesilničních pojízdných strojů z roku 1997, která byla novelizována roku 2004, se týká přibližně 1500 společností, vyrábějících tyto stroje v EU. /14/

S ohledem na technický pokrok sepsal Evropský parlament a uvedl v platnost v roce 2010 směrnici 2010/26/EU, která upravuje směrnici 97/68/ES. Zaměřuje se především na obecné požadavky při plnění emisních norem při schvalovacím procesu typizování a konkretizuje je pro Etapu IIIB a IV. Bylo zapotřebí začít brát v potaz zavedení elektronického řízení motorů a systémů dodatečné úpravy spalin, což první verze směrnice z roku 1997 pochopitelně neobsahovala. Proto se odpovídajícím způsobem změnily jednotlivé zkoušky ke stanovení emisních hodnot a celkově metodika uváděná ve staré směrnici. Výrobce musí předložit orgánu oprávněnému k měření dokumentaci ke zmiňovaným technologiím (např. EGR, SCR) a podle těchto informací probíhá schvalování. Zároveň je součástí schválení dodání informací od výrobce uživateli s tím, jak má s vozidlem, u kterého jsou tyto technologie nainstalovány, zacházet. Tyto instrukce musí být obsaženy v příručce.

Jako vedlejší informaci pro tuto práci mohu uvést, že tato směrnice dále odložila platnost emisních limitů pro malé nesilniční zážehové motory využívané v ručních nástrojích z původního roku 2008 na 2013, protože nebylo technicky a tedy i finančně možné výrobcům plnit dané limity (postup schvalování, jednotlivé definice, limity a celkově obdoba problematiky vznětových motorů je pro nesilniční zážehové motory popsána směrnicí 2002/88/ES, taktéž vycházející z 97/68/ES).

Dále se touto směrnicí uvolňuje složitější podávání žádostí o udělení tzv. přechodného režimu, a to s ohledem na zavedení Etapy IIIB, která je oproti předchozím přísnější. /16/

3.2 SPECIFIKA U ZEMĚDĚLSKÝCH A LESNICKÝCH TRAKTORŮ

Traktorem se rozumí každé motorové kolové nebo pásové zemědělské nebo lesnické vozidlo s nejméně dvěma nápravami a s maximální konstrukční rychlostí větší nežli 6 km.h^{-1} , jehož hlavní funkcí je vyvíjet tažnou sílu a které bylo speciálně konstruováno k tažení, tlačení a nesení a pohonu určitých výměnných zařízení, konstruovaných k vykonávání zemědělských nebo lesnických prací nebo k tažení zemědělských nebo lesnických přípojných vozidel. Může být i přizpůsobeno k tomu, aby při zemědělských či lesnických pracích neslo náklad nebo může být vybaveno sedadly pro spolujezdce. /18/

Co se týká prvních směrnicemi předepsaných podmínek pro schválení typů motorů u traktorů z hlediska výfukových emisí v letech 1974 a 1977, bylo určeno měření tzv. opacity výfukových plynů. Předepsány byly mezní hodnoty absorpce světla tzv. koeficientem absorpce k při předepsaném jmenovitém průtoku spalin G . Prováděly se dvě po sobě jdoucí zkoušky, při kterých se propustnost světla plyny měřila opacimetrem. /17/

Při pohledu na současnou technologii se Evropská unie snaží o prosazení co nejprísnejších norem z hlediska ochrany životního prostředí. Veškerým předpisům obsaženým ve směrnicích Evropské unie však předchází zdlouhavé studie a výzkumy, na základě kterých pak komise stanovují limitující hodnoty a data jejich uvedení v platnost v případě emisí. Součástí studií jsou i konzultace s členskými státy a zástupci samotných výrobců o stanovených limitech a datech, zda jsou realizovatelné z pohledu technologií a financí, které mají výrobci k dispozici, a zda tato fakta dostatečně zohledňují. Po uvedení směrnic v platnost jsou pověřeny komise dalšími studiemi během období platnosti jednotlivých etap emisních limitů a to pro kontrolu, jak jsou výrobci schopni plnit tyto předpisy. Výsledky těchto průzkumů jsou komisí následně předloženy Evropskému parlamentu k projednání, z nich poté mohou vycházet úpravy směrnic v podobě odložení dalších limitních etap či jiného způsobu zmírnění.

V roce 2000 byla Radou evropské unie sepsána směrnice, která zavádí limity prosazené ve směrnici o výfukových emisích nesilničních motorů z roku 1997 do legislativy traktorových motorů. Doplnovala tedy směrnice popisující typizování traktorů a jejich motorů z let 1974 a 1977 a rozšířila v nich popsaná měření emisí o plynné znečišťující látky a pevné částice. Avšak na základě důvodů popsaných

předchozím odstavcem byla data účinnosti Etap I a II pro některé kategorie traktorových motorů touto směrnicí odložena, viz tab. 8. Odklad činil v porovnání s ostatními nesilničními motory cca jeden až dva roky.

Kategorie motoru:	Platnost od:
A	31. prosince 2000
B	
C	
D	31. prosince 2000
E	
F	31. prosince 2001
G	31. prosince 2002

Tab. 8 Data uvedení emisních limitů v platnost pro Etapu I a II

I když tato směrnice upravuje relativně velmi staré směrnice typizování traktorů ze 70. let, v případě motorů z velké části odkazuje na metodiku typizování z 97/68/ES. Jak bylo zmíněno v předchozí podkapitole, tyto směrnice definují, jakým způsobem se označují motory, které byly schváleny pro provoz v traktorech, odpovídajícími kódy. Tyto kódy se skládají z pěti částí, oddělených znakem “ * “. První část označuje členský stát, ve kterém byla udělena shoda, např. pro Francii e2. Druhá část označuje směrnici, podle které byla shoda udělena, a je následována písmenem odpovídajícím etapě (pro Etapu I je to písmeno A a pro Etapu II pak písmeno B), kterou motor plní, např. pokud byla shoda udělena podle směrnice z roku 1997 a plní Etapu I, tak je to 97/68C A. Třetí část odpovídá poslední změnové směrnici, podle které byla shoda udělena. Čtvrtá část je čtyřmístné pořadové číslo odpovídající počtu schválení, tzn. 0003 je třetí schválení. A poslední pátá část je dvoumístné pořadové číslo pro rozšíření schválení a začíná 00, tedy bez rozšíření. Takže v souhrnu zmíněných příkladů může kód schválení, který musí být na viditelném místě na každém motoru, vypadat takto:

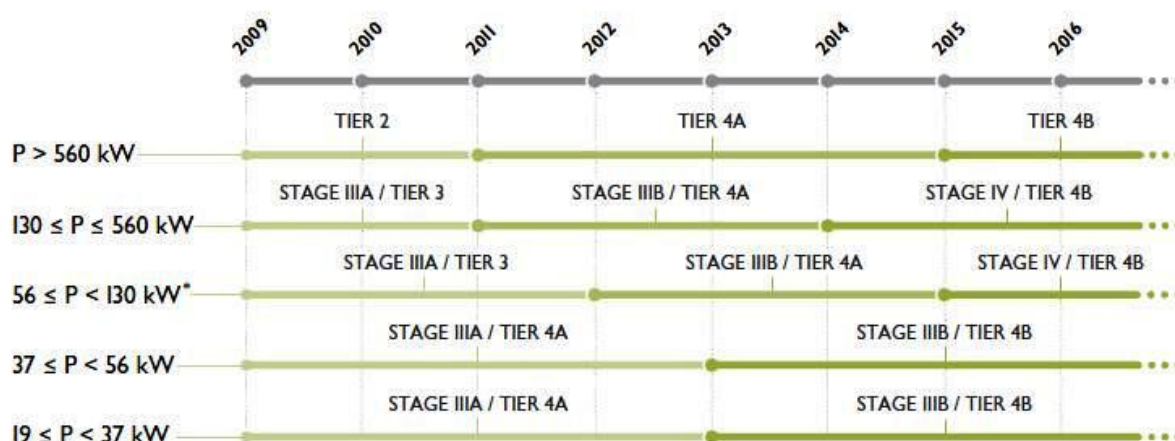
e2*97/68C A*00/00*0003*00

Tento kód slouží k rychlému zjištění informací o motoru, kterou emisní normu plní atd. Musí být součástí štítku, který dále obsahuje kód motoru, rodinu motorů a další informace od výrobce. /11/

Krom typizování motorů dle zmíněných norem existují i alternativní schválení typu dle jiných směrnic či předpisů Evropské unie. Směrnice z roku 2000 a její novela

z roku 2005 samozřejmě tyto alternativy zmiňuje, nicméně jich lze využít pouze v prvních dvou etapách. Například pro první etapu postačuje shodnost dle směrnice o emisích vznětových motorů z roku 1988. Pro Etapu II to může být předpis EHK č.49, který popisuje podrobně metodiku měření emisí u spalovacích motorů. Ale u ostatních přísnějších etap z hlediska limitů lze již typizovat jen podle zmíněných směrnic z let 1997 a 2004. Další emisní limity nastavené novelizovanou směrnicí 2004/26/ES a týkající se kategorií, do kterých spadají traktorové motory (H, I, J, K, L, M, P, Q, R), byly uvedeny v platnost pro traktory ve stejná data jako pro ostatní nesilniční mobilní stroje, viz tab. 5, tab. 6 a tab. 7. Předpis o provedení kontroly v roce 2007 Evropskou komisí, zda lze splnit uvedené limity a v požadovaných termínech, který byl navržen ve směrnici o emisích pro nesilniční vznětové motory, platí i pro traktorové motory a jejich směrnice na něj odkazuje. Bylo nutné zjistit, zda především pro specifické kategorie traktorů nebude zapotřebí odložit platnost těchto limitů. /12/ Na základě této studie a dalších dvou navazujících z let 2009 a 2010 byla v roce 2010 po postoupení návrhu jednotlivým parlamentům členských zemí sepsána směrnice, která odkládá pro několik kategorií traktorů s motory L až R platnost limitů Etapy IIIB a Etapy IV o tři roky a platí pro ně tedy Etapa IIIA. Jde o tzv. sezónní typy traktorů, např. traktory s velkou světlou výškou nad 1000 mm (k ošetřování již vzrostlých plodin). Na rok 2014 je naplánována nová studie týkající se dostupnosti technologií pro tyto typy traktorů ke splnění přísnějších limitů. /19/

Limity ve světě jsou shodné s těmi v EU a liší se pouze označením (např. pro USA Tier 4A odpovídá v EU Etapa IIIB), viz obr. 7.



Obr. 7 Etapy emisních limitů pro nesilniční motory USA (EPA) a EU /21/

3.3 POŽADAVKY NA PALIVA S OHLEDEM NA EMISE

Podle pracovního dokumentu Evropské komise z roku 2007 pro vyhodnocení potřeby úpravy procentuálních obsahů složek v palivech s ohledem na snížení emisí způsobující skleníkový efekt bylo doporučeno pozměnit směrnici z roku 1998 o palivech. Jeden z návrhů od odvětví zabývajícího se bionaftou označovanou FAME nebo českou zkratkou MEŘO (metylester řepkového oleje) byl stanovit ve směrnici minimální podíl této složky v motorové naftě. Nicméně tento podíl již stanovuje evropská norma o palivech EN590. Je to minimální podíl, který nemá vliv na funkci techniky motoru. Rozborem bionafty nebyl zjištěn žádný environmentální vliv, proto komise ponechala stanovení pouze na normě EN590. Z obdobných důvodů se nespecifikovala ani paliva LPG a CNG. Další návrh se týkal obsahu síry v motorové naftě, komise měla zjistit, zda snížení obsahu síry nezvýší obsah skleníkových plynů a kdy by se měla opatření na snížení zavést. Nižší obsah síry v palivu znamená nižší obsah oxidu siřičitého a pevných částic ve výfukových plynech. Nejdůležitější je však potřeba tuto složku snížit, aby měli výrobci zaručenou funkci nových technologií instalovaných na motory z důvodu přísnějších norem, konkrétně Etapy IIIB, a s dostatečným předstihem. Komisí bylo potvrzeno a doporučeno již dříve navrhované datum 1. ledna 2009 a snížení na obsah síry do 10 ppm. Jednou z dalších diskutovaných složek emisí jsou karcinogenní polycyklické aromatické uhlovodíky *PAU*. Zde došlo ke střetu zájmu asociace zastupující výrobce motorových vozidel a sdružení ropného průmyslu. Výrobci automobilů požadovali snížení *PAU*, kdežto ropný průmysl označil další snižování za nedůležité, přesto dospěl k rozhodnutí snížit obsah z 11 % na 8 %. Jednalo se totiž o beznákladové snížení souběžně se snížením síry. Zmíněna v návrhu byla i potřeba zavedení povinného přidávání detergentů do paliv, aby bylo docíleno celoživotního fungování motorů z pohledu stálých emisí. Další úpravy složek paliva byly označeny po dohodě s asociacemi evropských výrobců motorových vozidel za neefektivní s ohledem na snižování ostatních složek emisí, a především to nebude mít pro výrobce žádný přínos při snaze docílit požadovaných emisních limitů. Množství motorové nafty využívané nesilničními pojízdnými stroji je 9 % z celkové spotřeby motorových vozidel. /15/

3.4 POROVNÁNÍ S LEGISLATIVOU SILNIČNÍCH MOTORŮ

Pro silniční motorová vozidla byly stanovované Evropským parlamentem a radou první omezení týkající se výfukových emisí také v 70. a 80. letech minulého století. Opět zde platí snaha všech zemí a světových společenství o standardizaci jejich jednotlivých emisních limitů pro zajištění srovnatelných podmínek na jednotlivých trzích světa. Proto jsou zvláště limity současnosti shodné v rámci všech těchto trhů.

Směrnice 70/220/EHS o schvalování typu automobilů, která zahrnovala osobní automobily a lehká užitková vozidla (dále jen osobní automobily), a směrnice 88/77/EHS, která zahrnovala těžká nákladní vozidla, započaly dlouhou legislativní cestu k zlepšování životního prostředí snižováním škodlivých emisí ze silničních motorových vozidel. Tyto směrnice byly postupně upravovány a nahrazeny dalšími nařízeními, která platí i dnes. Pro evropskou současnost nejdůležitějšími nařízeními jsou od 90. let minulého století tzv. Euro normy, období etap u nesilničních vozidel. Tyto normy jsou postupně očíslovány od 1 do 6 (prozatím) a hodnoty jsou uvedeny v g/km, to pro osobní automobily a římskou I až VI (prozatím) v g/kWh pro těžká nákladní vozidla. Jelikož jsou osobní automobily omezeny limity v g/km, není možné je z pohledu emisních limitů porovnávat s nesilničními vozidly. Proto pro potřebu jakéhosi porovnání legislativ použijí právě těžká nákladní vozidla a také z důvodu podobnosti parametrů jejich motorů s těmi využívanými traktory (výkon, velikost atd.).

Emisní hodnoty těžkých nákladních vozidel se vztahují na všechna vozidla s maximální přípustnou hmotností nad 3500 kg nebo s maximálním povoleným počtem přepravovaných osob více než 9. Zároveň jsou vybavena tato vozidla vznětovými motory či zážehovými na zemní plyn (NG) nebo LPG. Několik stěžejních kroků týkajících se legislativy emisí těchto vozidel je uvedeno v následujícím odstavci.

První norma Euro I byla zavedena v roce 1992 a s odstupem několika let následovaly další. Euro I a II se vztahovala i na městské autobusy, ale byla dobrovolná. Euro III, IV a V byla nastavena směrnicí 1999/96/ES, která zároveň definovala novou dobrovolnou normu pro nízkoemisní vozidla, tzv. "šetřící životní prostředí" ("enhanced environmentally friendly vehicles") neboli EEV. V roce 2001 byla Evropskou komisí zakázána možnost použití zařízení, která by umožňovala odpojení nebo snížení účinnosti zařízení k dodatečnému snižování emisí. V roce 2005 Evropská unie potvrdila platnost Euro IV a V a požadavků na palubní

diagnostické systémy (OBD), aby dosahovaly dostatečné úrovně. Také vydala ustanovení o systémech spotřebovávajících činidla (AdBlue) pro dodatečné snižování emisí. A zavedl se nový požadavek na výrobce, aby jednotlivé kategorie vozidel plnily emisní limity po určenou dobu (km nebo roky), s tím souvisí i typizování přístrojů vozidla pro kontrolu emisí během této doby. Nejnovější emisní norma VI je platná od roku 2013/2014, jsou v ní uvedeny nové zkušební požadavky a ještě přísnější požadavky na OBD. /20/

Opět jsou tyto normy zaváděny ve dvou fázích, k prvnímu datu musí splňovat normy všechny nově typizované automobily a k druhému datu pak všechna nově uváděná vozidla na trh. Zajímavostí jsou daňové úlevy pro automobily, které plní nadcházející normy ještě před jejich oficiální platností. Limity jsou opět definovány pro stejné složky emisí jako u nesilničních motorů (CO, HC, PM, NO_x) a navíc od euro III ještě pro kouřivost (koeficient absorpce k). U těžkých nákladních vozidel se limity nerozdělují podle výkonu motoru, jako tomu bylo u nesilničních motorů. Pouze v případě norem I a II byly různé limity pevných částic. Limity jsou určeny pro dva typy měřících cyklů, viz tab. 9 a tab. 10. Při prvním cyklu tzv. ESC (European Steady-State Cycle) se měří emise při stacionárním režimu (stálé otáčky, různé zatížení) spolu s měřením opacity ELR (European Load Response). U druhého režimu, tzv. ETC (European Transient Cycle) se měří emise u motorů obsahující systémy dodatečné úpravy spalín, jako je SCR a filtr pevných částic, a jde o dynamickou zkoušku přechodového cyklu za běžných provozních teplot motoru (předepsaný jízdní model – různé otáčky, různé zatížení). /8/ Pro euro VI byly tyto cykly poněkud pozměněny a sjednoceny pro celý svět Evropskou hospodářskou komorou EHK OSN. Součástí schvalování Eura VI je i testování za provozu na veřejných komunikacích při různých rychlostech (obec, mimo obec, dálnice).

U traktorových motorů se využívá jiných dvou samostatných měřících cyklů (norma z roku 1997), a to NRSC (Non-Road Steady Cycle) a NRTC (Non-Road Transient Cycle). Opět jde o stacionární a dynamickou zkoušku, stacionární se využívala pro Etapy I, II a IIIA a dynamická pak pro přísnější Etapy IIIB a IV. Stacionární zkouška se skládá z tzv. osmibodového zatěžovacího cyklu, při kterém je motor zatížen (nezatížen) osmi různými hodnotami otáček a momentů. Každý z bodů má svůj váhový koeficient, kterým se násobí výsledné hodnoty emisí. Dynamická zkouška se skládá ze dvou částí, a to měření emisí při startu za studena (20°C -

30°C) a při startu zahřátého motoru na provozní teplotu. I zde má každá z naměřených hodnot svoji váhu danou koeficientem. Zatěžování probíhá podle předepsaného algoritmu normou a sestává z 1238 bodů měnících se po jedné vteřině. /6/

Limity pro pevné částice u těžkých nákladních vozidel (tab. 9) jsou pro menší motory do zdvihového objemu 0,75 dm³ na jeden válec a otáček pro jmenovitý výkon nad 3000 min⁻¹ povoleny větší. Dále jsem v tab. 9 neuváděl absorpční koeficient (opacita), protože ho nelze využít k porovnání s nesilničními motory. V tabulce tab. 10 se uvádí uhlovodíky jiné nežli metan *NMHC*. Dynamická zkouška se používá také pro zážehové plynové motory (NG, LPG), avšak limity pevných částic pro ně neplatí a platí i zde pravidlo pro menší motory. /20/

Norma:	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹):	Uhlovodíky HC (g.kWh ⁻¹):	Oxidy dusíku NO _x (g.kWh ⁻¹):	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹):	Platnost od:
Euro I ≤ 85 kW	4,5	1,1	8,0	0,612	1992
Euro I > 85 kW	4,5	1,1	8,0	0,36	
Euro II ≤ 85 kW	4,0	1,1	7,0	0,25	1996
Euro II > 85 kW	4,0	1,1	7,0	0,15	1998
Euro III EEV	1,5	0,25	2,0	0,02	1999
Euro III	2,1	0,7	5,0	0,10	2000
Euro IV	1,5	0,46	3,5	0,02	2005
Euro V	1,5	0,46	2,0	0,02	2008
Euro VI	1,5	0,13	0,4	0,01	2013

Tab. 9 Emisní normy pro těžká nákladní vozidla při stacionárním režimu /20/

Norma:	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹):	Uhlovodíky NMHC (g.kWh ⁻¹):	Oxidy dusíku NO _x (g.kWh ⁻¹):	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹):	Platnost od:
Euro III EEV	3,0	0,40	2,0	0,02	1999
Euro III	5,45	0,78	5,0	0,16	2000
Euro IV	4,0	0,55	3,5	0,03	2005
Euro V	4,0	0,55	2,0	0,03	2008
Euro VI	4,0	0,16	0,5	0,01	2013

Tab. 10 Emisní normy pro těžká nákladní vozidla při dynamické zkoušce /20/

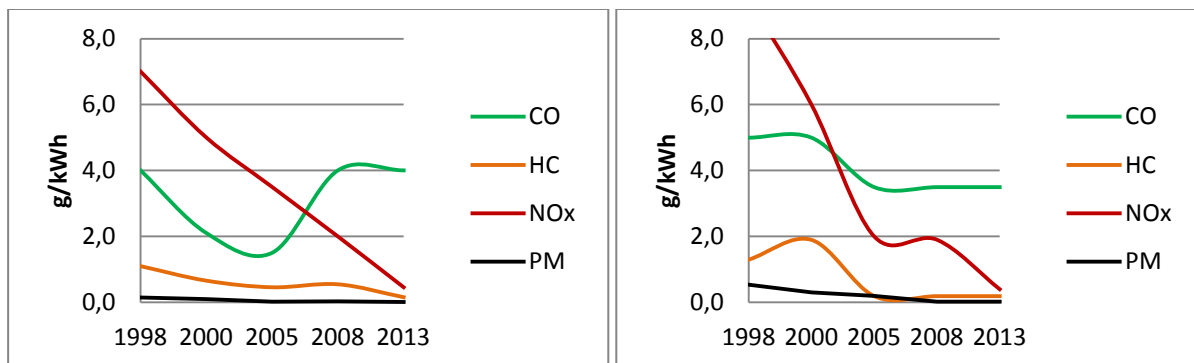
V tab. 11 jsem vytvořil porovnání hodnot limitů nesilničních motorů a silničních. Jde pouze o srovnání, jakým tempem, o kolik a které složky výfukových plynů se v jednotlivých letech snižovaly v obou odvětvích (jaké byly “trendy”). Nelze přímo

porovnávat jednotlivá čísla, protože jak je popsáno výše, v každém odvětví vznětových motorů se typizuje podle odlišných cyklů a testů (měření emisí v jiných bodech charakteristik motorů). Důvod je jednoduchý, provoz motorů v silničních vozidlech je naprosto odlišný od těch v nesilničních a podle specifických provozních podmínek se cykly vytvářejí. Aby bylo porovnání co nejvíce objektivní, zvolena byla v případě Euro II normy ta pro větší motory nad 85 kW výkonu. Dále jsou seřazeny podle data uvedení v platnost Etapy I, II a IIIA spolu s normami Euro II, III a IV, tyto normy se týkají stacionárního testovacího cyklu. Etapy IIIB a IV spolu s normami Euro V a VI se týkají dynamického testovacího cyklu, proto jsou seřazeny společně.

Norma, Etapa (kategorie motoru):	Oxid uhelnatý CO (g.kWh ⁻¹):	Uhlovodíky HC, NMHC (g.kWh ⁻¹):	Oxidy dusíku NO _x (g.kWh ⁻¹):	Pevné částice PM (g.kWh ⁻¹):	Platnost od:
Euro II > 85 kW	4,0	1,1	7,0	0,15	1998
Etapa I (A)	5,0	1,3	9,2	0,54	
Etapa I (B)	5,0	1,3	9,2	0,70	
Etapa I (C)	6,5	1,3	9,2	0,85	
Euro III	2,1	0,7	5,0	0,10	2000
Etapa II (D)	3,5	1,0	6,0	0,2	1999
Etapa II (E)	5,0	1,9	6,0	0,3	2000
Etapa II (F)	5,0	1,3	7,0	0,4	2001
Etapa II (G)	5,5	1,5	8,0	0,8	2002
Euro IV	1,5	0,46	3,5	0,02	2005
Etapa IIIA (H)	3,5	4,0		0,2	2005
Etapa IIIA (I)	5,0	4,0		0,3	2005
Etapa IIIA (J)	5,0	4,7		0,4	2006
Etapa IIIA (K)	5,5	7,5		0,6	2005
Euro V	4,0	0,55	2,0	0,03	2008
Etapa IIIB (L)	3,5	0,19	2,0	0,025	2009
Etapa IIIB (M)	5,0	0,19	3,3	0,025	2010
Etapa IIIB (N)	5,0	0,19	3,3	0,025	2010
Etapa IIIB (P)	5,0	4,7		0,025	2011
Euro VI	4,0	0,16	0,5	0,01	2013
Etapa IV (Q)	3,5	0,19	0,4	0,025	2012
Etapa IV (R)	5,0	0,19	0,4	0,025	2013

Tab. 11 Limitní hodnoty pro silniční a nesilniční motory dle jednotlivých roků /20/

Pro názornost jsem vytvořil graf, který znázorňuje tendence jednotlivých složek emisí v obou odvětvích spalovacích motorů, obr. 8. V případě nesilničních motorů jsem zástupcem vybral kategorii, ve které je zastoupeno nejvíce traktorů, a to s výkonem od 130 do 560 kW.



Obr. 8 Graf poklesu či růstu jednotlivých složek norem euro vlevo a etap vpravo

V grafech na obr. 8 a v tab. 11 je vidět, že výrobci automobilů byli nuceni mezi lety 1998 a 2005 snižovat především oxid uhelnatý, tato snaha byla poté nahrazena snahou o snižování jiných podle studií daleko škodlivějších látek, např. pevných částic. Ostatní látky byly snižovány o takřka stejné hodnoty, až na uhlovodíky, které v roce 2008 mohly dosahovat vyšších hodnot nežli dříve. V současnosti jsou ale opět snižovány.

Rozdíl v přísnosti limitů mezi silničními vozy a nesilničními je dán rozdílným prostředím, ve kterém se tyto kategorie pohybují. Zatímco nákladní automobily jsou využívány na silnicích mezi lidmi a ve městech, tak traktory většinu času provozu tráví na polích či v lesích daleko od obyvatel, kde jsou koncentrace složek výfukových plynů v ovzduší a následné imise velmi malé. I tak v případě traktorových motorů byly limity emisí v posledních cca 15 letech stále snižovány velmi razantním způsobem. I zde bylo výjimkou navýšení limitů uhlovodíků, a to kolem roku 2000, ale následně byly opět značně sníženy. Nejnovější limitní hodnoty jsou oproti těm předešlým opravdu nesrovnatelně nízké, uhlovodíky byly za posledních deset let sníženy téměř sedminásobně, oxidy dusíků pak více jak dvacetinásobně a stejně tak i množství pevných částic. Nyní jsou limity nesilničních motorů co do přísnosti velmi podobné těm u nákladních vozidel. Brzy budeme stále více vidat traktory splňující Etapu IV, u kterých již neuvidíme žádné "černé oblaky kouře" (nízké hodnoty v případě opacity) vycházející z výfuku, a to ani v plném zatížení.

4 TECHNIKA OMEZOVÁNÍ VÝFUKOVÝCH EMISÍ NESILNIČNÍCH MOTORŮ

4.1 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ U NESILNIČNÍCH MOTORŮ

Z důvodů výše popsaných byli výrobci nuceni přistoupit k razantním změnám v konstrukci vznětových motorů, aby právě docílili požadavků, které na ně byly a jsou stále kladeny z pohledu emisí. Snižování emisí lze docílit dvěma základními způsoby. Prvním způsobem je úprava samotného procesu hoření, úprava charakteristiky motoru. Jde tedy o způsob vstřikování paliva (tlak, tvar, počet fází atd.), úprava tvaru dna pístu a celého spalovacího prostoru, přívod vzduchu a odvod spalín a v neposlední řadě především načasování tzv. předvstřiku, který zásadně ovlivňuje produkci některých v současnosti nejvíce sledovaných složek. Tímto způsobem je snaha snižovat již samotnou produkci škodlivých polutantů při hoření. Druhým způsobem je následná dodatečná úprava spalín, které vznikly.

Dobrych výsledků z hlediska produkce škodlivin lze dosáhnout u nesilničních motorů zavedením elektronických řídicích systémů motoru, např. systém vstřikování Common rail. To znamená větší tlak vstřikování pro lepší promíchání směsi a rozfázování vstřiku, tak aby bylo palivo co nejlépe při spalování využito (spáleno). A dále bylo efektivní zavedení optimalizace přeplňování. Co se týká dodatečné úpravy spalín, neměly až do nedávna (cca 2005) motory nesilničních vozidel žádnou tuto technologii. Pro požadavky kladené počátečními Etapami I, II postačoval první způsob a to úprava konstrukce spalování. Výrobci se snažili snižovat spotřebu paliva se současným dodržením či nepatrnou změnou charakteristiky motoru, díky tomu se dalo docílit uspokojivých hodnot vypouštěných škodlivin. Stěžejní bylo optimalizovat dodávku paliva, aby odpovídala aktuálnímu výkonu a otáčkám motoru (snížení NO_x , CO). Z hlediska otáčkové charakteristiky se upustilo od nejvyšších výkonových a momentových špiček. To z důvodu tvorby NO_x za vysokých teplot. Charakteristika se nastavila podle požadovaných hodnot emisí. Snížení reakční teploty se docílilo i ochlazením nasávaného vzduchu, který je hnán do válce turbodmychadlem, za použití tzv. mezichladiče stlačeného vzduchu. Na základě tohoto ochlazení se dalo docílit vyšších kompresních poměrů a tím vyšší účinnosti. /22/ Důležité bylo vylepšení technologie pro dosažení dostatečné těsnosti mezi plochou pístu a válce

pístními kroužky (materiálem, konstrukcí) tak, aby se snížila spotřeba motorového oleje a jeho následného spalování na minimum (snížení produkce PM).

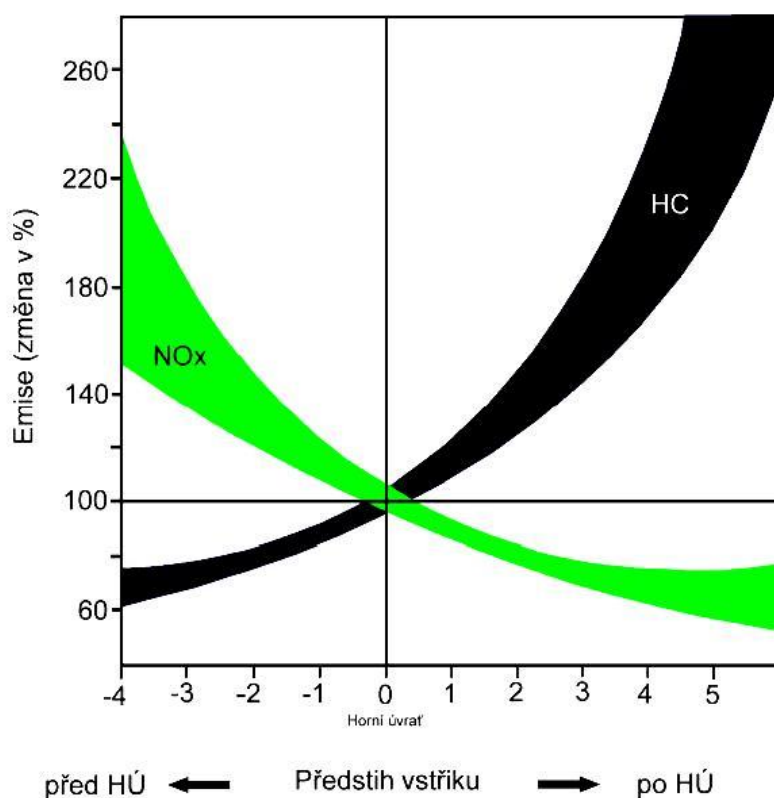
Přes tato všechna opatření byly emise oxidů dusíku a pevných částic o hodně vyšší nežli u benzínových motorů, proto se se snižováním limitů pokračovalo i dále. Od Etapy III však již nebylo možné plnit přísné požadavky pouhou změnou konstrukce spalování, proto se přešlo i k druhému způsobu snižování emisí a motory se začaly opatřovat systémy dodatečné úpravy výfukových plynů. I tak se stále vylepšují spalovací cykly motorů a někteří výrobci motorů dokonce nadále produkují motory bez dodatečné úpravy spalín anebo jen s jejich minimálním využitím. Se systémy dodatečné úpravy jsou bohužel spojeny vyšší náklady na splnění přísnějších limitů. Také proto se stále pracuje na vylepšování spalovacích procesů, aby byly tyto systémy co nejmenší. Jednu část nákladů představují samotné systémy a liší se v závislosti na typu zařízení, některé obsahují drahé kovy, což se jistě na ceně výrazně promítne. Další zařízení, jako je SCR, zas spotřebovávají AdBlue kapalinu, čímž se zvyšují náklady na provoz. Druhou část nákladů představuje vyšší spotřeba paliva, např. v podobě energie potřebné pro regeneraci filtrů pevných částic. /20/ Systémy následné úpravy využívané u nesilničních vznětových motorů jsou dieselové oxidační katalyzátory DOC, oxidační katalyzátory částic POC, filtry pevných částic DPF, recirkulace výfukových plynů EGR a selektivní katalytická redukce SCR.

4.2 *TECHNIKA SNIŽOVÁNÍ ŠKODLIVIN U TRAKTORŮ*

Způsob snižování škodlivin u traktorů se téměř neliší od způsobů využívaných u ostatních nesilničních mobilních strojů, jelikož pro traktorové motory platí stejná pravidla z hlediska emisí jako pro ostatní nesilniční. Většina výrobců traktorů si navíc nechává motory dodávat od velkých světových firem, které se specializují na výrobu motorů. Tito dodavatelé vyrábějí pro širokou škálu využití, ať už silniční či nesilniční, a jednotlivé konstrukční úpravy navzájem mezi jednotlivými kategoriemi přenášejí. Přesto nejsou motory totožné, pro daný typ stroje je zapotřebí vyrobit motor se specifickými charakteristikami.

I zde začínali výrobci motorů se snižováním emisí u optimalizace spalovacího procesu. Samotné konstrukci motorů v zemědělských a lesnických traktorech je

věnována podkapitola 5.1. Ze zmíněných technologií na dodatečné snížení emisí se jako první a základní úprava využíval systém řízené a chlazené recirkulace výfukových plynů EGR ke snižování oxidů dusíku. V současné době využívají traktorové motory v podstatě dvou variant, a to v závislosti na nastaveném režimu vstřikování paliva a následně produkovaných složkách. Podle nastaveného předstihu vstřiku paliva vzniká buď více NO_x a zároveň méně HC , nebo naopak více HC , tím i PM a méně NO_x . V případě vyššího procenta oxidů dusíku je to dřívější vstřik před horní úvratí a v případě vyššího procenta uhlovodíků to je pozdější dostřik, viz obr. 9.



Obr. 9 Závislost produkce emisí (NO_x , HC) na předvstřiku paliva

Z pohledu účinnosti motoru je výhodnější dřívější předvstřik, palivo stihne lépe dohořet a využije se tak jeho celkový energetický potenciál, u dostřiku se nevyužité palivo ve formě uhlovodíků ztrácí ve výfukovém traktu. Pro oba tyto režimy nastavení existují samostatné technologie na zpracování výfukových složek. První varianta, pokud má výrobce k dispozici menší zástavbový prostor, tedy u menších typů traktorů (cca do 100 Hp), je nastavení pozdějšího vstřiku paliva, kdy se tvoří více uhlovodíků. Tato varianta využívá kombinace EGR a DPF, za současného snížení oxidů dusíku snižuje i produkci uhlovodíků, potažmo pevných částic. /6/ Tato varianta

je zároveň postačující k plnění Etapy IIIB. S postupným nastoupením emisní Etapy IV však většina výrobců není schopná u velkých motorů (nad 100 Hp) plnit limity pomocí této varianty a přechází na zavedení druhé varianty úpravy spalin, a to SCR. /23/ Motor se zde nastaví pro větší produkci NO_x . Spousta společností již tuto technologii využívá pro Etapu IIIB a u traktorů ji poprvé použila finská společnost zabývající se výrobou motorů Agco Power v roce 2007 pro traktory Massey Ferguson. /24/ V některých případech se mohou jednotlivé tyto technologie kombinovat i s diesel oxidačními katalyzátory DOC pro lepší účinnost redukce výfukových plynů. Další využívanou součástí pro snižování emitovaných emisí je systém odvětrávání klikové skříně, a to buď uzavřený CCV nebo otevřený OCV.

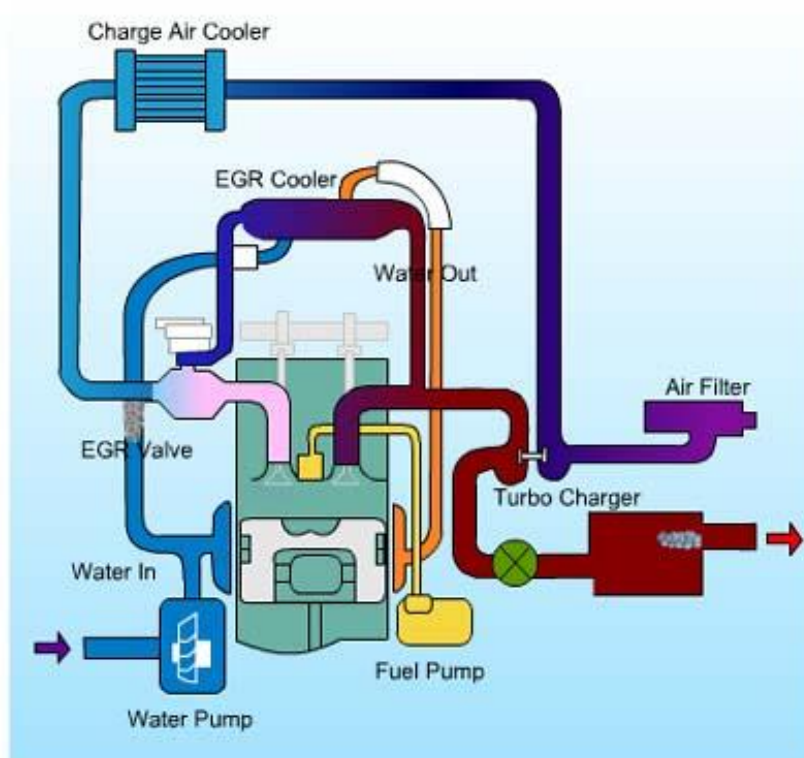
4.3 RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Tato technologie je jednou ze základních pro omezování tvorby NO_x u vznětových motorů. Využití má i v jiných směrech u spalovacích motorů, ale k tomuto účelu se začala využívat u vznětových motorů v 70. letech minulého století a s jistými modifikacemi se u velkých nákladních vozů a nesilničních motorů začal znovu využívat po roce 2000. U traktorových motorů se EGR začal implementovat poprvé v roce 2006 z důvodu emisní Etapy IIIA a to u motorů společnosti Deere, která tyto motory dodává do traktorů John Deere. Traktor s tímto motorem opatřený dále nově i turbodmychadlem s variabilní geometrií lopatek dosahoval nejnižší spotřeby ve své třídě. Postupně se začal systém chlazeného EGR využívat i u dalších výrobců (Deutz, Komatsu). /20/

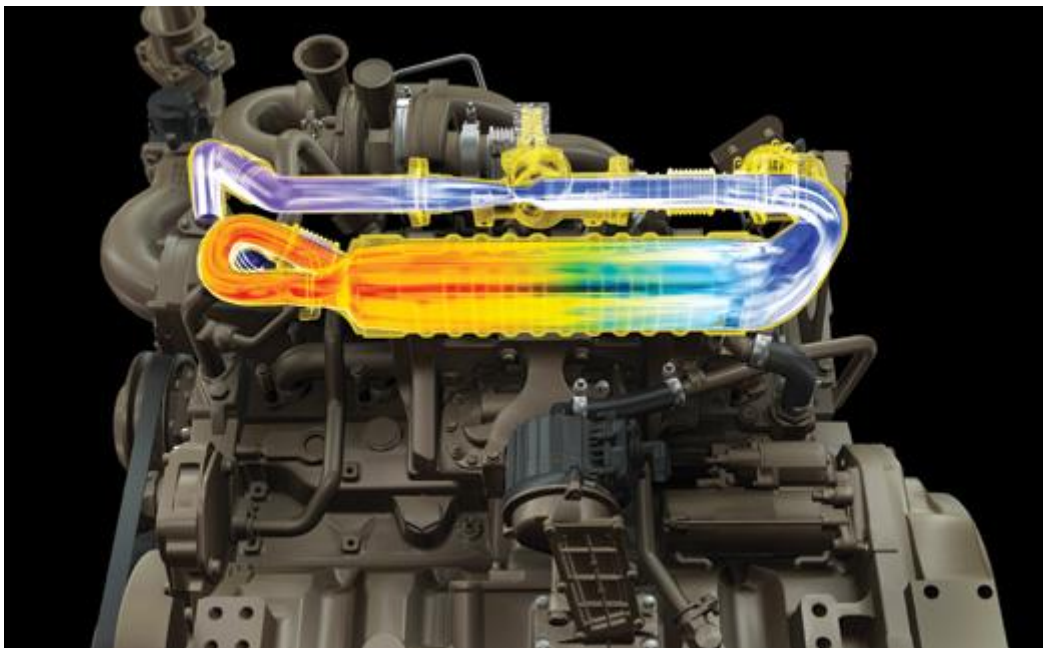
EGR je zařízení, pomocí kterého se část výfukových plynů vrací zpět do sání a účastní se znovu spalovacího procesu. Průtok těchto spalin je v současnosti řízen ventilem, který v závislosti na zatížení motoru, teplotě vzduchu a otáčkách ovládá řídicí jednotka motoru. To aby se zpět do spalování dostávalo jen optimální množství spalin. Nasávání probíhá na principu Venturiho trubice z místa za sběrným potrubím před turbínou a dále jsou spaliny vedeny přes chladič a ventil do sacího potrubí, viz obr. 10. Přisávané spaliny s obsahem CO_2 snižují koncentraci vzdušného kyslíku ve spalovacím prostoru, čímž se snižují maximální teploty spalování, a v případě vlastního chlazení nasávaných spalin v systému EGR se snižuje teplota spalování ještě efektivněji. Toto chlazení je taktéž modifikací, se kterou se poprvé představil u

traktorových motorů John Deere. Jedná se o tepelný výměník napojený na chladicí soustavu motoru. Díky této recirkulaci a následnému snížení oxidů dusíku lze posunout vstřikování paliva dříve před horní úvrať, a tím dosáhnout větší účinnosti, nežli u motorů bez systémů dodatečné úpravy spalin. /24/ Zpět do motoru se vrací až 30 % spalin. Toto množství je zapotřebí ochladit chladicí soustavou motoru, která tomu musí být dostatečně přizpůsobena, tzn. zvětšena natolik, aby byla schopna uchladiť motor při největších zatíženích. Spalovací prostor je také při vracení se spalin zpět zanášen větším množstvím nečistot v podobě pevných částic a ostatních složek, znečišťuje se motorový olej i celkově spalovací prostor, což má vliv na interval výměny oleje a celkovou životnost motoru. Nevýhodou EGR je i vyšší koncentrace *PM* díky snížení množství kyslíku při spalování. Z tohoto důvodu se začal při nastoupení další emisní Etapy IIIB tento systém kombinovat s filtrem pevných částic, popř. i oxidačním katalyzátorem a výjimečně s SCR.

V současnosti tento systém využívají všichni výrobci traktorových motorů, ne však u všech modelových řad. /6/



Obr. 10 Princip recirkulace výfukových plynů u traktorových motorů /26/



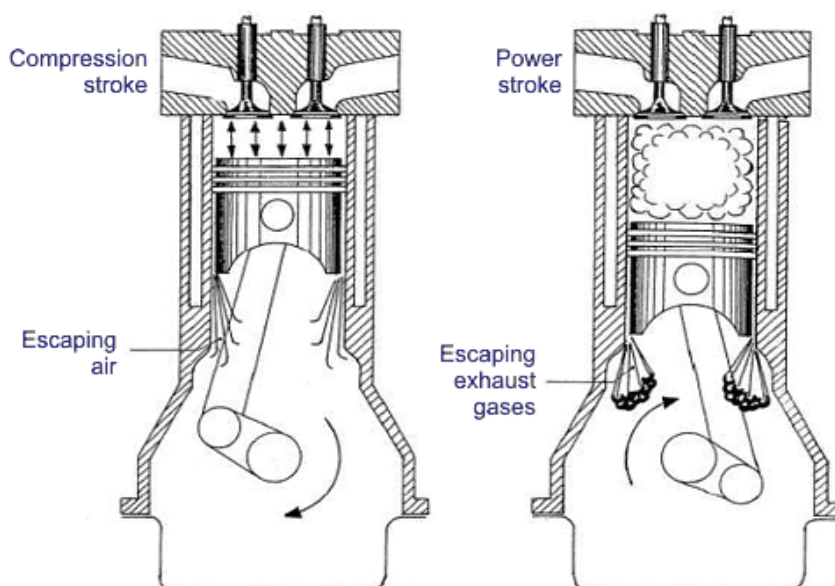
Obr. 11 První systém EGR na traktorovém motoru (Deere PowerTech PSX 9.0L) /25/

4.4 ODVĚTRÁVÁNÍ KLIKOVÉ SKŘÍNĚ

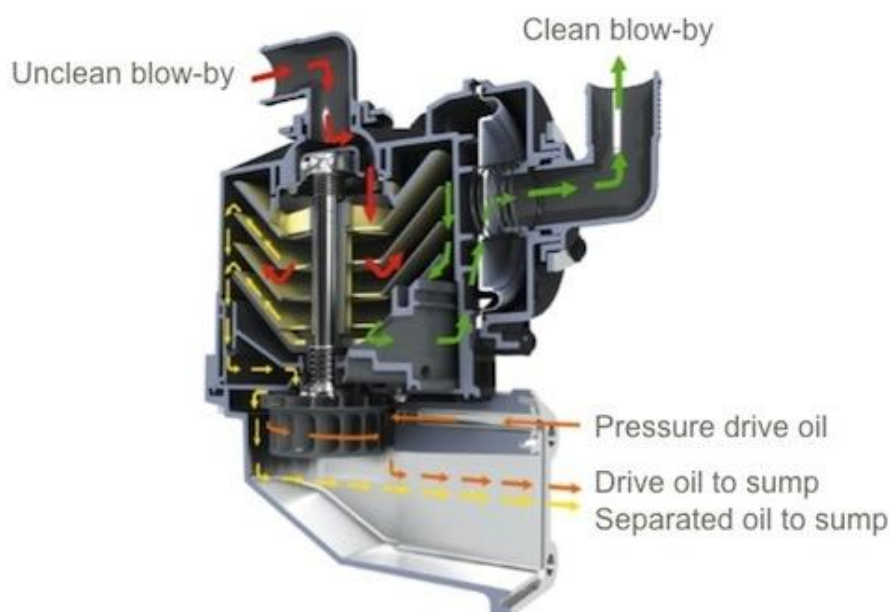
Dalším zdrojem nežádoucích polutantů mohou být plyny vypouštěné z klikové skříně (Blow-by). Tyto plyny se skládají z olejových mlhovin přímo ze skříně a z výfukových plynů, které se dostanou pod píst ze spalovacího prostoru kolem pístních kroužků při kompresi a expanzi, viz obr. 12. Dalším zdrojem může být hřídel turbodmychadla, která je mazána olejem motoru a v některých případech se mohou dostat výfukové plyny i přes stopku výfukového ventilu. /20/

U traktorů se technologie na snížení emisí z klikové skříně začala zavádět pro Etapu IIIB, dříve se tyto emise vypouštěly do atmosféry. Dělí se na základní dva typy, prvním je otevřený systém, kdy jsou eliminovány pevné složky, které se buď filtrují, nebo vrací zpět do klikové skříně, a zbylé plyny jsou vyvedeny do atmosféry. Druhým je uzavřený systém, kdy jsou plyny po oddělení pevných složek vedeny do sání motoru. Např. u traktorů Massey Ferguson je to uzavřený systém CCV, kdy jsou plyny odváděny do nádoby s podtlakem, v ní je oddělen olej pomocí rotujících lopatek rotoru, který je poháněn mazacím olejem motoru. Zbylé plyny zbavené

pevných složek jsou odváděny do sání. Jde o bezúdržbovou technologii. Princip je vyobrazen na obr. 13.



Obr. 12 Unikání plynů do klikové skříně ze spalovacího prostoru /20/



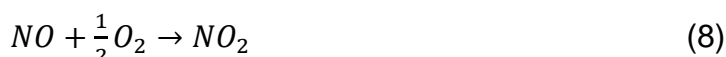
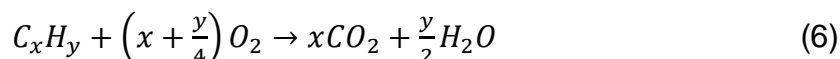
Obr. 13 Princip odlučovače pevných složek u odvětrání klikové skříně /28/

4.5 OXIDAČNÍ KATALYZÁTORY

První komerční využití bylo u vznětových automobilů Volkswagen v 80. letech minulého století, avšak masivnějšího využití dosáhl tento katalyzátor až v roce 1996 s příchodem emisní normy pro osobní automobily Euro 2. U traktorových motorů se začaly zavádět s emisní Etapou IIIB a především u motorů vybavených EGR.

Tento katalyzátor z platiny nebo paladia díky kyslíku obsaženému ve výfukových plynech vznětových motorů podporuje oxidaci několika složek emisí při nižších teplotách, než je zapotřebí při spalování, a mění je na méně škodlivé produkty. Mezi hlavní oxidované složky patří oxid uhelnatý CO , uhlovodíky HC a organický podíl pevných částic PM . Dalšími složkami, které však nejsou regulovány legislativou, jsou aldehydy a aromatické uhlovodíky PAU . Použití tohoto katalyzátoru při spalování nafty s vyšším obsahem síry může být kontraproduktivní, protože dojde oxidací SO_2 ke vzniku sulfátů a pevných částic, a tím se celková produkce pevných částic zvýší více nežli u spalování bez katalyzátoru. Z tohoto důvodu byl obsah síry v motorové naftě zredukován, aby byla umožněna správná funkce DOC.

Základní chemické procesy (oxidace) probíhají podle těchto rovnic:



Podle rovnice (5) je oxid uhelnatý oxidován a vzniká tak oxid uhličitý, v případě vodíku v rovnici (7) pak vzniká oxidací vodní pára. V rovnici (6) jsou pak uhlovodíky oxidovány za vzniku oxidu uhličitého a vody (vodní páry). Krom reakcí při přítomnosti vysokého obsahu síry v palivu je v některých aplikacích (např. v hlubinných dolech) nežádoucí i oxidace oxidu dusnatého na oxid dusičitý, který je škodlivější. Na povrchu to není takový problém, protože k této reakci dojde časem i v atmosféře. Navíc v současnosti jsou tyto katalyzátory doplněny o systémy SCR nebo DPF, které pro svou funkci využívají NO_2 .

Mechanismus pracuje tak, že výfukové plyny prochází přes katalytické plochy na povrchu nosiče katalyzátoru, který má různou konstrukci, např. monolitická kovová nebo keramická mřížka (co největší možná plocha z důvodu co nejvyšší účinnosti reakce), viz obr. 14. Zmíněné katalytické plochy pak mají schopnost absorbovat

kyslík a ten následně reaguje s čínidly (CO , HC , NO), které se dostávají na tento povrch. /20/ Tyto katalyzátory jsou schopny snížit produkci pevných částic až o 40 %. /29/



Obr. 14 Řez diesel oxidačním katalyzátorem /29/

4.6 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC

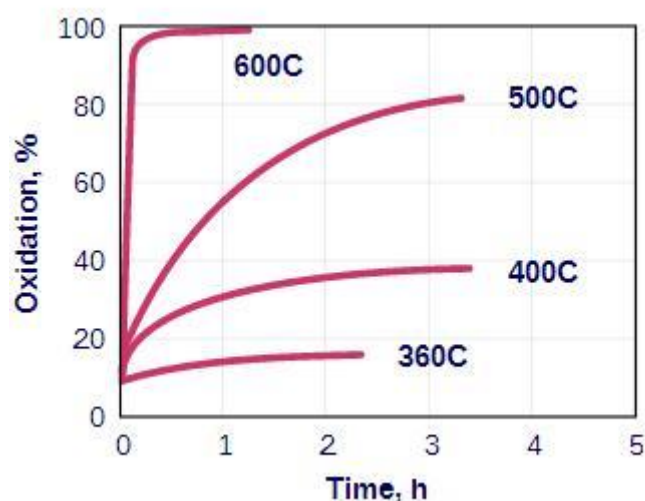
Filtry pevných částic začala jako jedna z prvních výrobců traktorů zavádět společnost John Deere spolu s EGR, DOC a variabilní změnou geometrie lopatek u turbodmychadla pro Etapu IIIB. /25/ Stejným směrem se začala ubírat i tuzemská společnost Zetor nebo i ostatní výrobci, kteří využívají motory společnosti Deutz.

Tento systém je zařízení, které fyzicky zachytává pevné částice a saze C , aby se nedostávaly dále do ovzduší. Jsou konstruovány z materiálů, které vykazují dobrou filtrační schopnost ($>90\%$), tepelnou a mechanickou odolnost. Takřka neúčinné jsou při průchodu organické frakce pevných částic, proto je pro jejich omezení vhodné zkombinovat filtr pevných částic DPF s oxidačním katalyzátorem DOC, viz výše. Vzhledem k nízké hustotě pevných částic cca $0,1\text{g/cm}^3$ je filtr velmi rychle zanášen, u starších typů motorů se ve filtru zachytí až několik litrů pevných částic denně. Toto zanášení má za následek pokles průchodnosti spalin filtrem, zvětšení protitlaku ve výfukovém potrubí a komplikace s chodem motoru. Proto musí mít systémy filtrů pevných částic schopnost (na základě snímačů tlaků před a za filtrem) vyčištění a znovuoobnovení funkčnosti, to se nazývá regenerace filtru. Existují dva základní způsoby regenerace, a to buď kontinuální, nebo v předepsaných intervalech.

Probíhat by měla v obou případech automaticky bez zásahu řidiče. Regenerace je prováděna tepelně, zvýšenou teplotou výfukových plynů nebo jiným přídavným zařízením a následnou oxidací kyslíkem nebo oxidem dusičitým na oxid uhličitý. Pro vyšší koncentrace NO_2 je vhodné taktéž využít DOC, protože NO_2 je hlavním činidlem všech typů regenerace. V případě kontinuální regenerace je filtr čištěn nepřetržitě během provozu motoru, toto je označováno jako pasivní regenerace. Pasivní filtry jsou většinou osazeny katalyzátorem, který snižuje teplotu oxidace na mez, kterou lze běžně za provozu dosáhnout. Dalším způsobem čištění je aktivní regenerace, kdy je zvýšení teploty ve filtru dosaženo sekundárně buď řídicím systémem motoru, spalováním paliva ve výfukovém systému nebo elektronickým ohřevem. Čištění se provádí podle intervalů daných řídicím systémem motoru. Oxidaci sazí popisují tyto dvě základní rovnice:

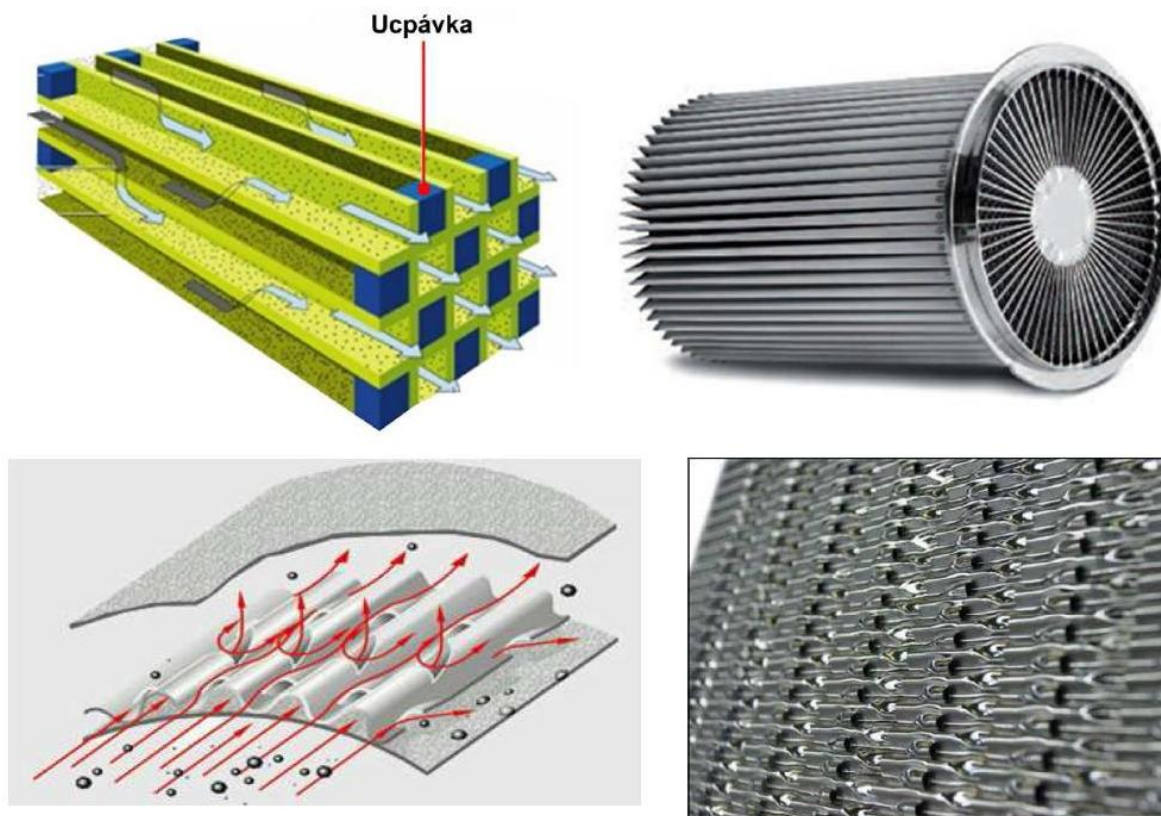


Zde představuje pevný uhlík hořlavou část pevných částic. Lépe se oxidují plynné složky nežli ty pevné, proto na oxidaci pevných částic nestačí běžné katalyzátory a využívají se filtry pevných částic, kde jsou částice zachyceny a vystaveny delší době expozice. Pro dostatečně rychlou a úplnou oxidaci a tedy regeneraci je zapotřebí dostatečně vysoká teplota, cca 600°C , proto se filtr umísťuje co nejbližše sběrnému potrubí, resp. turbíně. Při nižší teplotě trvá oxidace delší dobu a nemusí být 100% dokončena, viz obr. 15. /20/



Obr. 15 Závislost regenerace DPF a jejím čase na teplotě /20/

Z hlediska konstrukce filtrů existují dvě základní metody zachytávání částic. První je uzavřený systém, kdy musejí částice procházet přes stěny filtru, a druhý je otevřený systém, kdy jsou plyny směřovány kolmo k odrazovým plochám, kde se částice zachytávají, oba principy jsou vyobrazeny na obr. 16. Co se týká katalyzátoru



Obr. 16 Uzavřený systém filtrace (nahore) a otevřený systém (dole) /6/

umístěného na nosičích (cordierit, karbid křemíku, apod.), jedná se běžně o platinu, rhodium atd. Opět tyto katalyzátory dokážou oxidovat produkty spalování síry a zároveň síra snižuje životnost DPF, což je v obou případech nežádoucí. Zdrojem síry však nemusí být pouze palivo, ale i motorový olej, který se i když minimálně, dostává do procesu spalování a je zdrojem pevných částic. Z tohoto důvodu je zapotřebí v motorech se systémem DPF používat oleje, které obsahují nízké procento síry. Nicméně síra se spolu s fosforem využívá v olejích jako aditivum, bez kterého ztrácí olej své mazací schopnosti. V konečném důsledku mají tyto motory kratší intervaly výměny olejů. /6/ Co se týká životnosti DPF, měla by být stejná jako životnost motoru, nicméně se současným přístupem k výrobě, tomu tak leckdy není.

Výhody, kvůli kterým někteří výrobci přistoupily k této technologii, jsou v jednoduché obsluze bez dodatečných provozních kapalin, v nezávislosti na teplotě

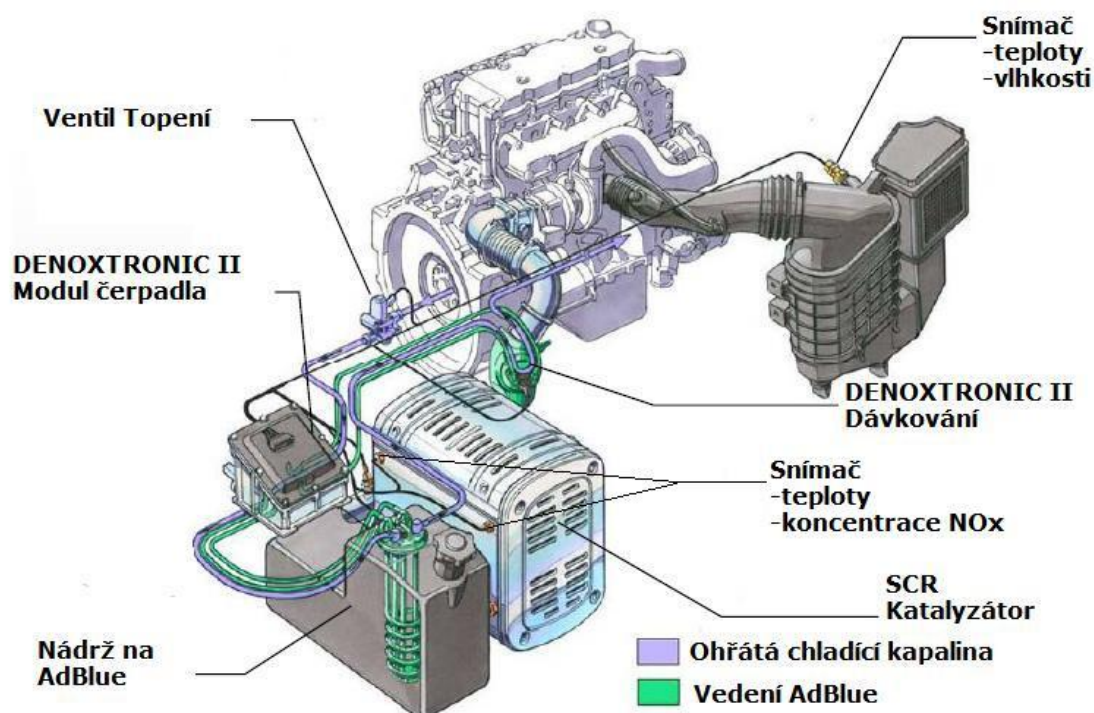
okolního prostředí a také např. že filtr může nahradit tlumič hluku. Spoléhají se tedy na to, že uživatelé traktorů budou raději volit stroje bez dalších provozních nákladů v podobě AdBlue. Co se týká regenerace u nesilničních motorů, ve velké míře závisí na tom, pro jakou práci je stroj určen, například v zemědělství se spoléhá na pasivní regeneraci (John Deere). /25/ Je to logické, protože motory pracují převážně času ve 100% zatížení, viz experimentální měření v kapitole 6. Kdežto v případě stavebních strojů, které pracují často v krátkých cyklech a ve volnoběžných otáčkách, se využívá aktivní regenerace, kdy se doba předvstřiku posune za horní úvrať a zvýší se tím teplota spalin, ale na úkor spotřeby paliva. Doba takové regenerace trvá přibližně 30 – 45 min a provádí se cca jednou za 10 – 12 Mth. Mohou se vyskytovat samozřejmě i kombinace aktivní a pasivní regenerace. /30/

4.7 SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE

Tato technologie, zkráceně SCR, se poprvé začala využívat v 70. letech minulého století v Japonsku v tepelných elektrárnách. V Evropě našla širší uplatnění v 80. letech pro obdobné stacionární aplikace a v 90. letech se dostala i do USA, kde ji využívali ke snižování oxidů dusíku u plynových turbín poháněnými kotli spalující uhlí. Postupně se SCR začalo využívat ve všech typech kotlů a spaloven. V roce 1989 bylo SCR instalováno na dva velké korejské tankery, aby plnily zpřísněné emisní normy v některých docích, systém snižoval emise NO_x o 92 %. První komerční využití u vznětových motorů v automobilech bylo zahájeno v roce 2004 firmou Nissan Diesel v Japonsku. Systém dodatečné úpravy spalin SCR je zatím jedinou metodou, která dokáže razantním způsobem snížit emise NO_x tak, aby motory splňovaly nejnovější emisní limity. /20/

Tato technologie snižuje množství oxidů dusíku ve výfukových plynech redukčními reakcemi (viz níže) za působení činidel získaných dalšími reakcemi z kapaliny zvané AdBlue, která se vstřikuje před katalyzátor do výfukového potrubí.

Systém SCR se skládá z několika komponent, které na vozidle slouží k zásobě, dopravě, ohřevu, filtraci a dávkování AdBlue, a dále z řídicího systému, který celý proces ovládá, a to na základě snímačů, které ho informují o podmínkách a průběhu procesu. Komponenty, ze kterých se tato technologie skládá, jsou vyobrazeny na obr. 17. /27/

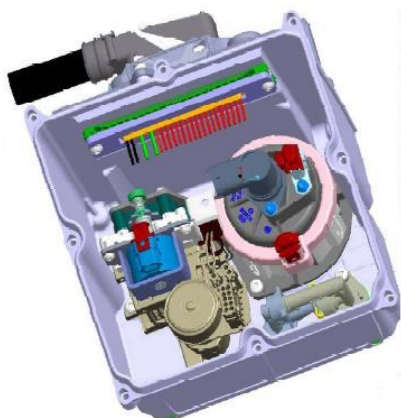


Obr. 17 Komponenty systému SCR /27/

Jako hlavní činidlo se využívá amoniaku NH_3 , ten se do procesu dostává právě z kapaliny AdBlue. V SCR se mohou používat dvě formy amoniaku, a to čistý bezvodý amoniak nebo vodný roztok močoviny (AdBlue), ze kterého se amoniak získá až chemickou cestou ve výfukovém potrubí. Bezvodý amoniak je však velmi toxický a vyžaduje tlakové nádrže pro jeho skladování, proto se zpočátku využíval jen v případě velkých lodních motorů, v současnosti se u běžných vozidlových motorů nevyužívá. AdBlue je méně nebezpečný roztok a lze s ním snadno manipulovat, nevyžaduje tlakové nádoby pro přepravu. Tato kapalina je složena z 32,5 % močoviny $CO(NH_2)_2$ a z 67,5 % demineralizované vody. Díky jejímu organickému původu se snižuje s časem její kvalita, obdobně jako u motorové nafty. Skladovat lze při 11°C až 36 měsíců, avšak v případě 25°C je to jen 18 měsíců. Další její nevýhodou je teplota krystalizace, která začíná při -11°C. /20//27/

Každá nádrž na AdBlue je koncipována tak, aby byla přibližně 3-5x menší nežli nádrž paliva a aby na jedno natankování AdBlue nádrže mohla být traktoru 2-3x natankována nádrž paliva. Hladina kapaliny je sledována obdobně jako v palivové nádrži a tento elektronický převodník je umístěn v tělese potrubí (pro nasávání kapaliny v nádrži) s výměníkem (obr. 19), kterým proudí chladicí kapalina motoru, která ohřívá v chladném období AdBlue a zabraňuje tak jejímu tuhnutí. Ze stejného

důvodu je toto těleso vybaveno elektronickým ohřevem při studeném startu motoru, kdy ještě nemá chladicí kapalina dostatečně vysokou teplotu k rozmrazení kapaliny. Z nádrže je kapalina nasávána membránovým čerpadlem, které je umístěno v boxu s řídicí jednotkou SCR (obr. 18), a dále je vedena přes dvoucestný ventil do vstřikovače umístěného na výfukovém potrubí před katalyzátorem.

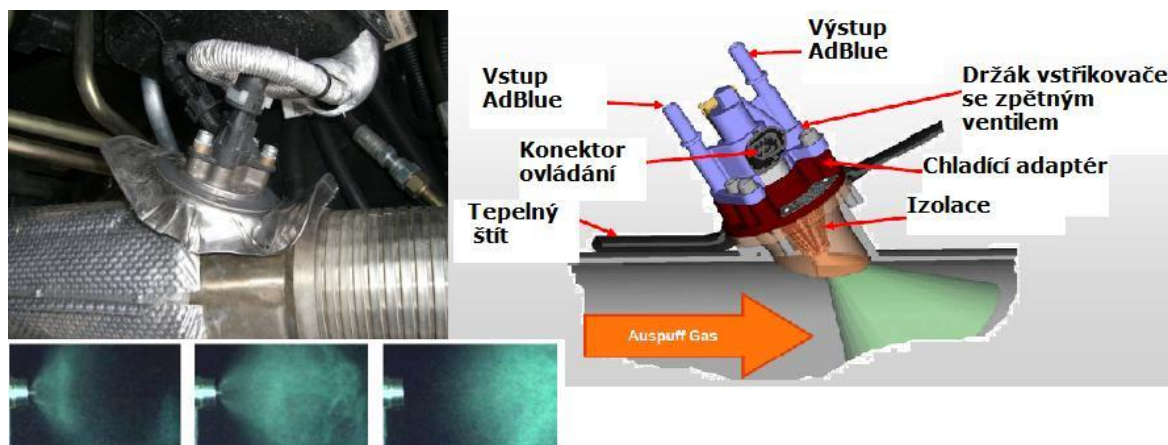


Obr. 18 Box s řídicí jednotkou, čerpadlem a dalšími komponenty SCR, umístěný na nádrži AdBlue /27/



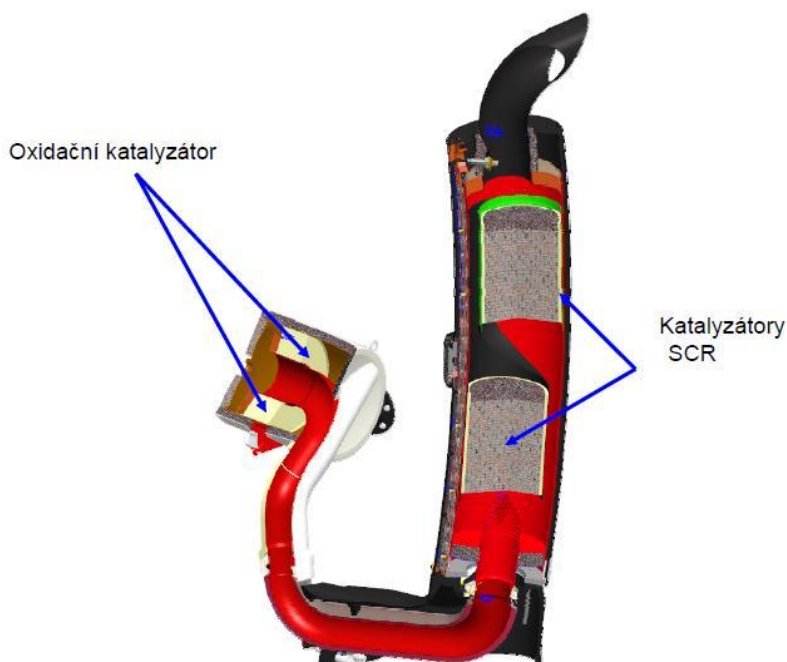
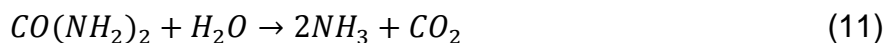
Obr. 19 Těleso pro nasávání AdBlue z nádrže s výměníkem pro ohřev /27/

Dvoucestný ventil plní po vypnutí motoru funkci přepuštění zbylého množství kapaliny ve vedení zpět do nádrže tak, aby nedošlo ve chladném počasí k její krystalizaci ve vedení. Vstřikovací tlak vytvořený čerpadlem dosahuje přibližně 5 barů a množství kapaliny určuje doba otevření vstřikovacího ventilu (obr. 20), přes který proudí zbylá kapalina zpět do nádrže (obdoba vstřikování paliva). /20/ Vstřikování takového množství kapaliny, aby bylo při chemické reakci množství NH_3 ve stechiometrickém poměru s NO_x (tzn. molární poměr 1:1), nastává až při teplotách cca 200 – 220°C ve výfukovém potrubí /27/, dříve by neprobíhaly požadované chemické reakce a do ovzduší by se dostávaly další nežádoucí polutanty (čistý amoniak, dusičnan amonný apod.), navíc při studeném motoru nedochází k takové



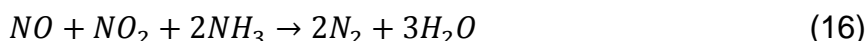
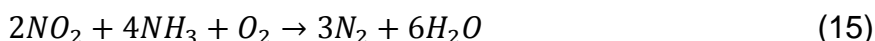
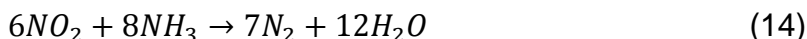
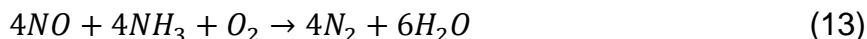
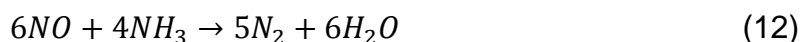
Obr. 20 Vstříkovací ventil SCR na výfukovém potrubí, jeho jednotlivé části a reálný vstřík AdBlue /27/

emitaci NO_x , aby bylo zapotřebí jej razantně snižovat, jako při zahřátém motoru. /20/ Po vstříknutí kapaliny AdBlue do výfukového potrubí dojde vlivem vysokých teplot k termolýze a hydrolýze (11) kapaliny, čímž se získají činidla v podobě CO_2 a NH_3 . Katalytické vrstvy na keramickém či kovovém nosiči uvnitř pláště jsou tvořeny prvky, které opět podporují rychlý chemický proces za co nejmenších teplot, tentokrát redukci NO_x na N_2 (obr. 21).



Obr. 21 Umístění redukčních katalyzátorů a DOC u traktoru Massey Ferguson /27/

Následuje řada chemických reakcí (12) – (16) přímo v katalyzátoru v závislosti na teplotě a hlavních reaktantech. Produktem pak jsou dusík N_2 a voda H_2O (vodní pára).



Hlavní chemickou reakci popisuje rovnice (13). V reakcích popsáných rovnicemi (14) – (16) je hlavním reaktantem oxid dusičitý. A reakce popsaná rovnicí (16) probíhá velmi rychle a při nízkých teplotách. /20/ Před a za katalyzátorem jsou umístěny snímače teploty a koncentrací NO_x , na základě nich kontroluje a ovládá řídicí systém SCR probíhající reakce. Řídicí systém také v případě nesrovnalostí informuje obsluhu traktoru o funkčnosti systému, resp. poruše, nebo upozorní na potřebu dotankovat. Při typizování traktoru schvalovacím orgánem státu musí být zaručeno a odzkoušeno, že systém traktoru nepřipustí běžný provoz bez funkčního SCR. V reálném provozu pak v případě výpadku SCR, úplného spotřebování kapaliny AdBlue v nádrži nebo načerpání nekvalitního AdBlue řídicí systém řidiči nedovolí pokračovat v jízdě a motor vypne. Dovoleno je např. u traktorů Case IH pouze nastartování na 3 x 30 sekund pro nouzové odjetí stroje. /27/

4.8 ŘEŠENÍ U JEDNOTLIVÝCH VÝROBCŮ

Pro prozatím konečnou emisní Etapu IV je asi jedinou možnou technologií a variantou systém SCR, ať už samotný nebo v kombinaci s ostatními technologiemi.

Obr. 22 Volba jednotlivých technologií u různých výrobců traktorů /27/

Výrobce motorů	Řešení	Výrobce traktorů
	DOC >100 Hp SCR <100 HP EGR+DPF	
	DOC SCR + >174 HP EGR	
	DOC SCR+EGR	
	DOC Etapu IIIB: EGR+DPF Etapu IV: EGR+DPF+SCR	
	Etapu IIIB: EGR+DPF Etapu IV: SCR	

5 MOTORY V ZEMĚDĚLSKÝCH TRAKTORECH

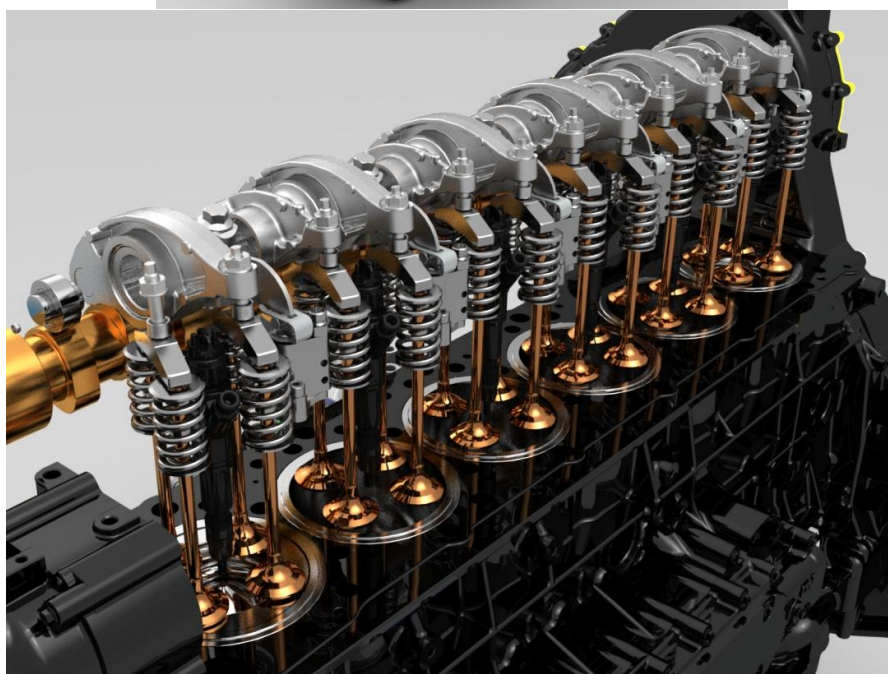
5.1 KONSTRUKCE

U motorů běžných kolových či pásových traktorů se využívají přeplňované, především řadové vodou chlazené tří- až osmiválce. V případech jiných zemědělských mobilních strojů to mohou být i motory s orientací válců do V. Ve většině případů jsou opatřeny chlazením plnicího vzduchu. Pro nejsilnější kategorie traktorových motorů (od cca 300 HP) se využívá technologie dvoustupňového přeplňování s variabilní změnou lopatek (nebo klapkou Wastegate) a s dodatečným chlazením plnicího vzduchu. Motory mají typicky rozvod OHC pomocí ozubených kol s jedním vačkovým hřídelem. Písty bývají kované z kvalitní oceli pro vyšší životnost. /6/

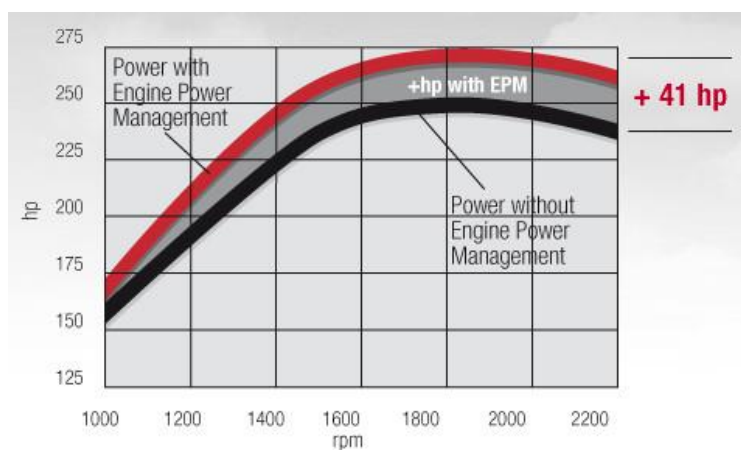
S nástupem emisních etap se komplexně přepracovalo rozmístění všech prvků týkajících se spalování. Úprava spalovacího prostoru spočívala v umístění spalovací komůrky ve středu dna pístu pro lepší rozložení teplot a proudění směsi. K tomu se přizpůsobila i poloha vstřikovače do vertikální osy válce a díky této poloze se palivo mnohem lépe dostane do celého spalovacího prostoru a vytvoří lepší homogenní směs s nasátým vzduchem nežli u dřívější. Simultánně s tím musel být upraven počet ventilů na válec, a to na počet 4 (dva sací a dva výfukové), tím se dosáhlo daleko rychlejšího a plynulejšího nasátí vzduchu a efektivnějšího výplachu, výsledkem bylo dosažení vyšší účinnosti a tím menší spotřeby paliva. /23/

Nedílnou součástí dnešních motorů je také elektronika, tzn. elektronická řídicí jednotka (ECU), která ovládá na základě požadavků od obsluhy a na základě informací ze snímačů sledujících podmínky uvnitř a vně motoru celý spalovací proces. Součástí je i moderní systém vstřikování paliva pod vysokým tlakem Common rail třetí generace s elektronicky řízenými vstřikovači a se vstřikovacím tlakem přes 2000 bar. /31/ Elektronicky jsou řízené i otáčky vrtule, která dle teploty motoru mění otáčky a nasává vzduch skrze tepelný výměník chladicí soustavy. Také servisní intervaly výměny motorového oleje a filtrů se díky změně konstrukce a stále kvalitnějším provozním kapalinám prodloužily na 600 – 1000 Mth. Motory dokážou krátkodobě navýšit svůj výkon cca o 10 – 15 % při zatížení v tahu pro překonání těžkých podmínek a navíc řídicí systém může mít funkci dalšího navýšení, např. o

dalších 45 HP. Důležitou funkcí řídicího systému je i tempomat, který udržuje konstantní otáčky motoru bez ohledu na zatížení.



Obr. 23 Traktorový motor výrobce FPT o zdvihovém objemu $12,9 \text{ dm}^3$ s typickým konstrukčním uspořádáním pro traktorové motory /6/



Obr. 24 Otáčková charakteristika motoru FPT s možností krátkodobého navýšení výkonu /6/

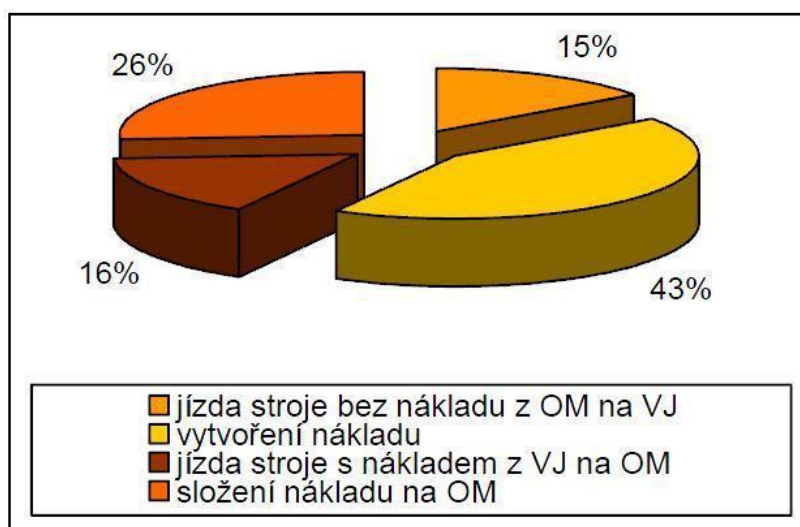
5.2 TYPICKÉ PROVOZNÍ PODMÍNKY

Traktor je pracovní stroj sloužící jako zdroj energie pro především tahové práce. Dalšími jeho náplněmi je i nesení nebo tlačení přípojných zařízení. Tato zařízení mohou být dále poháněna skrze vývodový hřídel traktoru (PTO – Power-Take-Off). Traktory jsou uzpůsobeny tak, aby se mohly a byly schopny pohybovat po veškerých typech povrchů, tedy zpevněném povrchu jako je beton, živičný povrch apod., nebo především nezpevněném, jako jsou strniště obilovin, povrch připravený k setí atd. (při 100% zatížení může dojít až k 4% prokluzu kol). /6/

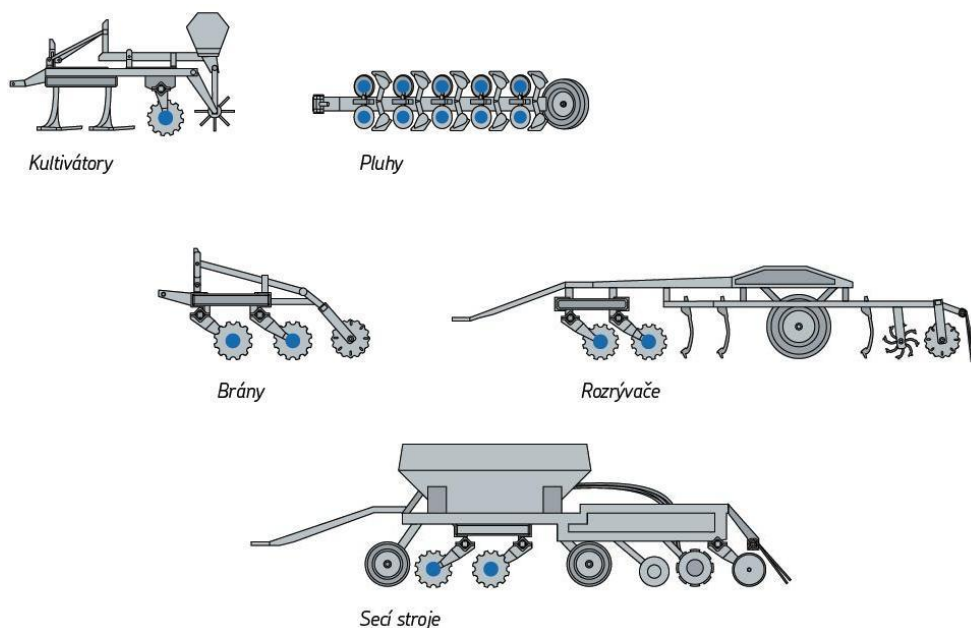
Traktory mají širokou škálu využití při práci, ať už v zemědělství nebo v lesnictví. Tomu také odpovídají provozní podmínky, ve kterých pracují. Využívají v podstatě celý rozsah výkonu i otáček motoru. Zároveň je kladen důraz na to, aby dosahovaly maximálního výkonu a točivého momentu v co nejnižších otáčkách (např. 1800min^{-1}), a tím plnily vysokou produktivitu při úspoře paliva. V případě přesunů po veřejných komunikacích mohou dosahovat rychlosti 30 – 50 km/h v závislosti na maximální možné rychlosti, při těchto rychlostech bývají motory i v 100% zatížení. Při práci na polích jsou vybaveny takovým přípojným zařízením, které může využít maximum výkonu traktoru tak, aby jím bylo obsaženo co nejvíce práce za co nejkratší dobu v závislosti na ekonomickém faktoru (spotřeba pohonných hmot). Z výsledků experimentálního měření v kapitole 6 bude patrné, v jakém zatížení traktory běžně pracují. K běžným pracím v zemědělské výrobě patří práce s půdou určenou pro pěstování plodin. Tyto práce se skládají z předseťové přípravy s kultivátory nebo kombinátory, které půdu urovňají a utuží. Dále ze setí či sázení plodin secími stroji, určenými buď pro připravenou půdu, nebo secí stroje pro nezpracovanou půdu bez předseťové přípravy. Pokračují další práce týkající se přihnojování a aplikací chemické ochrany plodin, k tomuto účelu většinou slouží specializované traktory, které jsou upraveny pouze na tuto práci (vysoká světlá výška apod.). Následují práce související se sklizní plodin, zde kromě opět specializovaných traktorů (např. sklízecí mlátičky) působí i klasické traktory, které plní funkci přepravy plodin, s touto souvisí klasické tažení těžkých přípojných kolových vozidel po kombinaci povrchů (zpevněných i nezpevněných). Samostatnou částí jsou práce s pící, zde se nejvíce využívá nesených či tažených přípojných zařízení hnaných PTO. Co se týká posklizňové činnosti, nejčastěji v období podzimu, tak jde o hlubokou orbu nebo v případě bezorebné technologie o práci s hloubkovými kypřiči.

Prostředí, v jakém pracují, se také často mění, pracují právě při několika různých sezónních pracích takřka ve všech ročních obdobích. V prašném prostředí v létě za vysokých okolních teplot (přes 30°C ve stínu). Dále na podzim při rychle se měnících teplotách a vlhkosti. A nakonec i v zimě, kdy teploty klesají pod bod mrazu.

Co se týká lesnických traktorů, tak ty pracují nepřetržitě celoročně a podle výkonových norem pro malé traktory do 60 kW výkonu se pracovní činnost skládá z několika základních částí, viz obr. 25. Tyto traktory jsou využívány v celém možném spektru prací týkajících se těžby dřeva, od základních probírek přes nahodilé těžby až po mýtní těžby. /32/



Obr. 25 Jednotlivé podíly pracovní činnosti lesního traktoru /32/



Obr. 26 Typická přípojná zařízení traktorů určená pro práci na poli /33/

5.3 ZASTOUPENÍ V CELKOVÉ PRODUKCI EMISÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Zdroje znečišťujících polutantů a jejich velikost jsou celostátně sledovány a archivovány v rámci Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). REZZO se dělí do čtyř databází, z nichž do REZZO 4 spadají právě mobilní zdroje znečišťování ovzduší. Mobilními zdroji jsou emise ze silniční, železniční, lodní i letecké dopravy, a poslední částí jsou právě zdroje z nesilniční dopravy (**zemědělské, lesní**, stavební stroje, vozidla armády a např. i údržba zeleně). /34/

Výpočet emisí z nesilničních zdrojů je prováděn skrze spotřebu motorové nafty zemědělských a lesnických strojů v rámci energetické bilance Českého statistického úřadu (ČSÚ). Zde jsem uvedl nejnovější údaje z energetické bilance, a to za rok 2011, tab. 12. /36/

Meřicí jednotka: tis. tun	Motorový benzín	Motorová nafta a topný olej	Celkem kapalná paliva
Konečná spotřeba celkem	1702	3878	6870
Spotřeba v zemědělství a lesnictví	-	321	321
Spotřeba v dopravě	1702	3428	5800

Tab. 12 Energetická bilance kapalných paliv ČR za rok 2011 /35/

Z tabulky je patrné, že zemědělské a lesnické stroje spotřebují přibližně 8,7 % z celkové spotřeby motorové nafty státu, což je asi 4,7 % z celkové spotřeby kapalných paliv. K porovnání v dopravě se spotřebuje cca 88,4 % motorové nafty.

V rámci časových řad vytvořených ČSÚ pro zobrazení vývoje ČR bylo dále zjištěno, že počet traktorů v zemědělství v roce 2011 byl přibližně 59 000, což je úbytek takřka o polovinu za posledních 20 let. To je dáno jednak poklesem meziroční zemědělské produkce v ČR, ale především zefektivněním strojů. /35/

Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	Organické látky	NH ₃
t/rok					
27624,6	559,6	103780,2	155011,2	34791,9	2205,1

Tab. 13 Emise znečišťujících látek za rok 2011 z REZZO 4 /36/

6 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

6.1 ZAŘÍZENÍ K MĚŘENÍ EMISÍ

V rámci projektu MEDETOX, na kterém spolupracují pracovníci Technické univerzity v Liberci spolu s Ústavem experimentální medicíny Akademie věd České republiky a Ministerstvem životního prostředí, byly vytvořeny právě pracovníky univerzity prototypy dvou mobilních zařízení k měření emisí, kde první z nich je určen k analýze plyných složek výfukových plynů (plynné analyzátory) a druhý k odběru proporcionálních vzorků pevné složky výfukových plynů (pevné částice). Tyto přístroje jsou svou velikostí v podstatě celosvětově jedinečné.

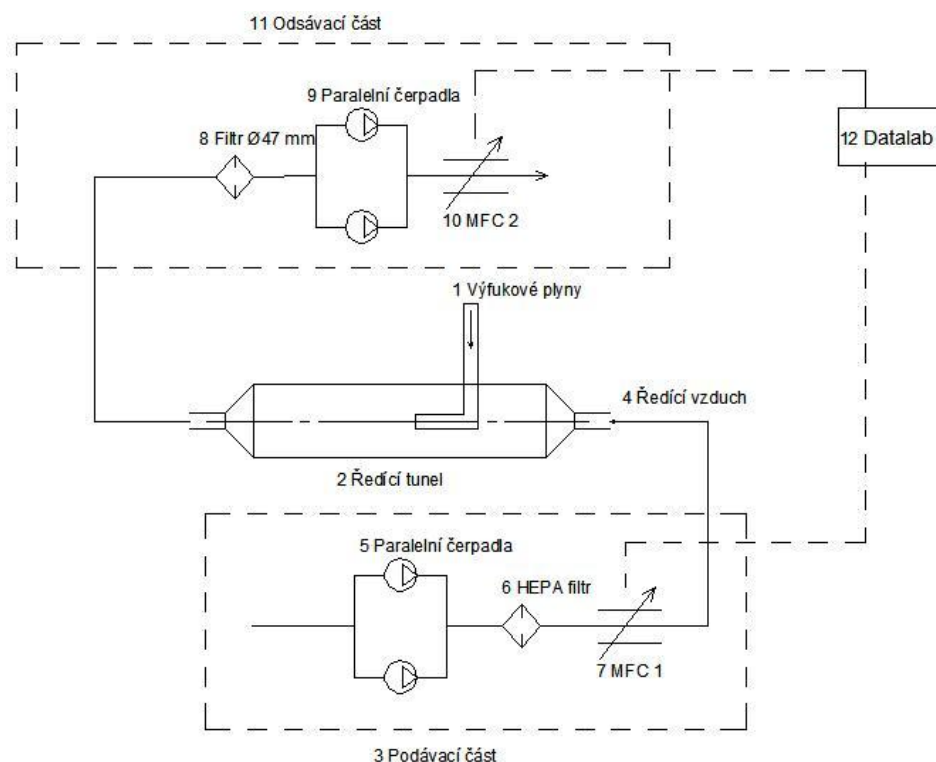
Plynné analyzátory se skládají ze dvou základních analyzátorů. První na principu absorpce infračerveného záření pro měření HC , CO , CO_2 a koncentrace PM . Druhý na principu elektrochemického článku pro měření NO_x a O_2 . Oba jsou umístěné v lehce přenosném boxu. Box dále obsahuje obrazovku, která zobrazuje aktuální naměřené hodnoty. Součástí obrazovky jsou i ovládací prvky analyzátoru sloužící k zapnutí přístroje, inicializace, spuštění a ukončení záznamu a vypnutí přístroje. Jsou zde i prvky ovládání průtoku, tedy velikost odebíraného vzorku výfukových plynů. Tento přístroj má schopnost zaznamenávání složení výfukových plynů v přednastavených intervalech, většinou po 1s a v nepřetržitém záznamu a údaje ukládá na vyjmutelnou paměťovou kartu. V každém intervalu zaznamenává rychlost, otáčky motoru, v jednotkách ppm hodnoty HC a NO_x , v procentech pak CO , CO_2 a O_2 , koncentrace pevných částic, tlak stlačeného a ochlazeného plnicího vzduchu a teplotu výfukových plynů. Vstupní informace o poloze získává z antény GPS signálu. Otáčky motoru snímá optický snímač např. přímo z řemenice klikového hřídele, signál posílá do převodníku, který je napájený napětím 12 V, a ten pak hodnotu otáček předává do boxu plyných analyzátorů. Dalším signálem je hodnota plnicího tlaku, tento signál dostává box skrze snímač tlaku, do kterého je přiveden hadicí tlak přímo ze sacího potrubí motoru. Dále si pomocí dopravního čerpadla a hadice přisávají analyzátory vzorek výfukových plynů přímo z výfuku stroje. Spolu s přisáváním vede do výfuku i termočlánek k odběru signálu teploty výfukových plynů. Vzorek plynů se v boxu analyzuje a vyhodnotí na základě zmíněných vstupních informací. Box je dále napájený stejnosměrným napětím 12 V, které se získává z přenosných akumulátorů, ty jsou zdrojem pouze pro měřicí zařízení.

Energii z měřeného stroje nelze odebírat z důvodu zkreslení měření odběrem výkonu motoru na alternátoru.



Obr. 27 Plynné analyzátořy

Vzorkovač pevných částic, jak název napovídá, je druhý prototyp stroje sestrojený univerzitou sloužící k odběru proporcionalního vzorku pevné složky výfukových plynů. Vzorek se odebírá v podobě filtru, přes který se prosává vzorek výfukových plynů a na němž se zachytí *PM*. Rozdíl ve váze před a po měření je přírůstek odebraných pevných částic. Filtry se váží a přepravují po dvou, druhý slouží jako referenční.



Obr. 28 Schéma principu vzorkovače pevných částic

Vzorkovač se skládá z podávací a odsávací části, z ředicího tunelu, datalabu a elektrických vedení. V podávací části (3) jsou umístěny dvě paralelně řazená čerpadla (5), pomocí nichž se přisává ředící vzduch. Za čerpadly je filtr (6), který zabraňuje vstupu nečistotám do systému, a za ním je umístěn elektronický škrťací ventil (7), kterým se ovládá průtok vzduchu. Obdobným způsobem je řešena odsávací část, na začátku které je umístěn filtr (8) o průměru 47 mm k odebrání vzorku. Tento filtr je pro snadné vyjmutí uložen v držáku filtru uchyceném pomocí bajonetových rychlospojek na vedení nařazeného vzorku. Ředící vzduch nasátý podávací částí putuje do ředicího tunelu (2), který je umístěn blízko ústí výfukového potrubí stroje a do kterého je pomocí principu Venturiho trubice přisán vzorek výfukových plynů. Nařazený vzorek je odsáván z tunelu odsávací částí vzorkovače. Do Datalabu (12) je přiveden signál z boxu analyzátorů, ten informuje systém vzorkovače o množství nasátého vzduchu. Jelikož množství nasátého vzduchu odpovídá s menší odchylkou (cca 4%) množství vypouštěných plynů, je v řídicím systému vzorkovače nastaveno poměrné množství výfukových plynů, které se má vzorkovačem vůči celkovému přefiltrovat. Proměnnost (z důvodu měnícího se množství vypouštěných plynů v závislosti na otáčkách motoru) je závislá právě na signálu množství nasátého vzduchu. A právě Datalab ze závislosti na tomto signálu ovládá škrťací ventily MFC 1 a MFC 2. Datalab je dále spojený přes rozhraní USB s počítačem, kterým obsluha vzorkovač ovládá, nastavuje jím poměr nasátého vzorku, spouští a vypíná jednotlivé čerpadla a ventily a především se v něm opět ukládají informace v jednosekundových intervalech ve formátu DBF. Tyto informace jsou množství nasátého vzduchu v kg/h a kumulativní množství nasátého vzduchu na jeden filtr, dále množství prosátých výfukových plynů jak v g, tak v dm³. Také jsou zaznamenávány jednotlivé průtoky (podávací, odsávací část a vzorek výfukových plynů).

6.2 VÝBĚR KONKRÉTNÍHO TYPU TRAKTORU

K měření jsem navrhl poměrně nový traktor, který splňuje emisní Etapu IIIB (Tier IV). Jedná se o traktor americké společnosti CASE IH, do kterého dodává motory výrobce FPT (Fiat Powertrain Technology). Výrobce těchto motorů, je jedním z největších na světě a ročně vyprodukuje něco přes 3 000 000 kusů spalovacích

motorů. Společnost CASE IH je zase jednou ze tří celosvětově nejznámějších značek zemědělských traktorů. /37/ Proto je měření takového stroje dostatečně objektivní z hlediska četnosti těchto strojů na světovém trhu. Od firmy Agram CZ, která je prodejcem strojů CASE IH v rámci volného prodeje v EU, jsem dostal k dispozici pro měření nový traktor, model Magnum 340. Na tomto stroji mohl být připraven návrh umístění měřicích zařízení a veškerých jejich snímačů, a na něm byly provedeny i první testy funkčnosti zařízení. Pro reálná měření pak byl poskytnut stejný model, jen s motorem nastaveným na nižší výkon, jednalo se o Magnum 290. Tento stroj byl již dva roky v provozu, proto byl ideální volbou, po záběhu. Prostor pro naměření jeho emisních hodnot byl poskytnutý zemědělskou společností Agro Sychrov a.s.

Model	Magnum 290 EP		
Motor	Cursor 8,7	Vozidlo	
Emisní norma	Etapa IIIB (Tier 4A)		
Počet válců	6	Hmotnost (t)	12,78
Objem válců (cm ³) Kompresní poměr	8700 15,9:1	Rozměry (mm)	6428 x 3378 x 2550
Vstřikování	Common rail (2000 bar)	Rozvor náprav (mm)	3055
Počet ventilů	24		
Plnicí vzduch	Přepřínování s mezichladičem a regulací plnicího tlaku Wastegate	Maximální rychlost (km.h ⁻¹)	40
Jmenovitý výkon (kW/HP)	209/284	Nádrž paliva (l)	651
Jmenovité otáčky motoru (min ⁻¹)	2000	Nádrž AdBlue (l)	89,4
Maximální výkon (kW/HP)	233/317		
Nárůst výkonu (%)	11,6		
Maximální výkon s navýšením při 1800 min ⁻¹ (kW/HP)	241/328	Zadní pneumatiky	710/70 R42
Maximální točivý moment (Nm při min ⁻¹)	690 při 1400	Přední pneumatiky	600/70 R30
Maximální točivý moment s navýšením (Nm při min ⁻¹)	748 při 1600	Počet ujetých Mth	1050
Dodatečná úprava spalín	CCV, SCR s DOC		

Tab. 14 Parametry měřeného vozidla /27/



Obr. 29 Traktor Magnum 290 EP společnosti Case IH /27/

6.3 ZÁSTAVBA KOMPONENTŮ MĚŘICÍ APARATURY

Na traktoru Magnum 340, který je totožný s Magnumem 290, bylo možné pracovat bez jakéhokoliv omezení. Jednalo se o kus, který ještě nebyl uveden do provozu a byl určen k prodeji. Umístěn byl na pobočce firmy Agram CZ v areálu společnosti Agro Sychrov a.s., kde se prováděla i následná měření na druhém zmiňovaném stroji.

Bylo zapotřebí zvážit a určit rozmístění jednotlivých snímačů pro měřicí zařízení, spolu s umístěním i samotného zařízení. Umístění optického senzoru bylo zvoleno v přední části traktoru pod kapotou před motor, senzor byl opatřen univerzálním držákem, který stačilo přišroubovat k rámu šroubem M8, kterým zde bylo uchycené elektrické vedení, mezi chladičem chladicí kapaliny a motorem, viz obr. 30. Senzor se nasměřoval směrem k okraji řemenice klikového hřídele, na který se vhodně umístila reflexní páska pro odrazení optického signálu. Díky možnosti snímání otáček přímo na klikovém hřídeli se nemusela do softwaru plyných analyzátorů zavádět složitě nová přepočtová konstanta. Kabel od senzoru se přivedl do prostoru kabiny řidiče, kde se připojil k převodníku signálu pro plyné analyzátory. Kabel bylo

zapotřebí upevnit tak, aby nedošlo k nežádoucímu střetu s pohyblivými členy vozidla. To se provedlo pomocí standardních nylonových pásek.



Obr. 30 Umístění optického snímače (červeně zakroužkovaný)

Další navržené umístění a konstrukční realizace se týkala výstupu pro napojení snímače tlaku stlačeného a ochlazeného nasávaného vzduchu. Bylo zapotřebí připojit silikon-textilní hadici o vnitřním průměru 6 mm, kterou se přiváděl tlak opět do prostoru kabiny řidiče, kde byl snímač, který převádí velikost tlaku na elektrický signál pro analyzátor. Zvolena byla nejsnazší varianta a to umístit výstup pro hadici v silikon-textilní spojnici sacího potrubí. Pro tuto variantu bylo zapotřebí zakoupit stejnou standardizovanou spojku a upravit ji pro toto využití. Výroba byla provedena dle výkresové dokumentace KVM - BP – 294. Umístění a zapojení je patrné na obr. 31. Opět bylo zapotřebí zafixovat hadici nylonovými páskami k nepohyblivým částem stroje.

Umístění ředicího tunelu a přísávání vzorku pro analyzátor a sondou teploty bylo provedeno jednoduše pomocí kovových hadicových spon, obr. 32.



Obr. 31 Napojení hadice ke snímání tlaku nasávaného vzduchu

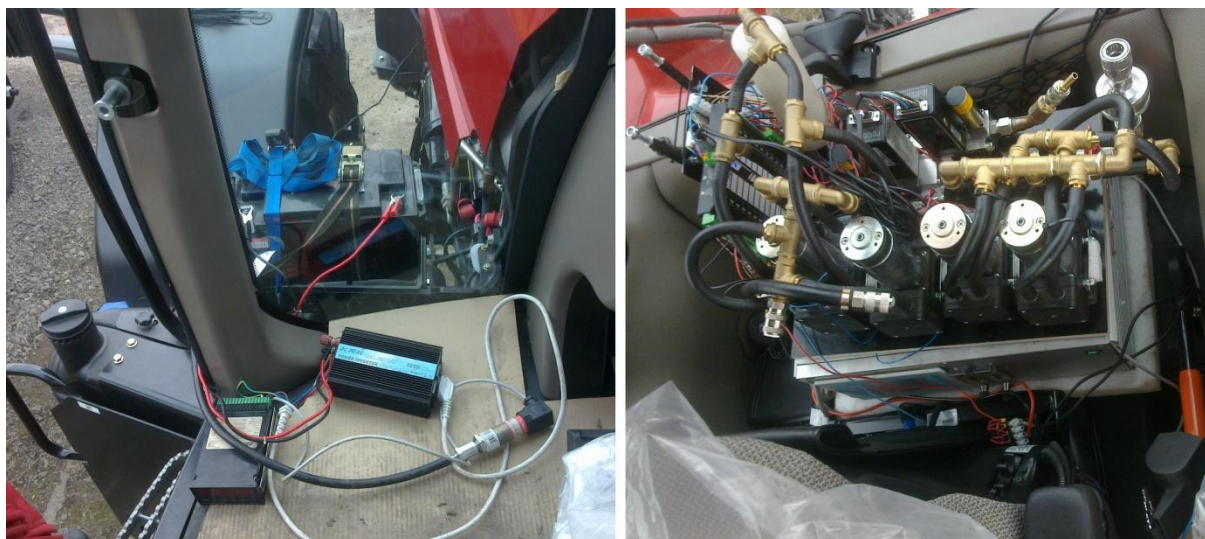
Hadice se vzorky výfukových plynů byly svedeny vzadu pod oknem skrze průchody pro případná vedení ovládaní přípojných zařízení traktoru.



Obr. 32 Ředící tunel spolu s vedením vzorků spalín

Stejným otvorem byla na střechu kabiny přivedena anténa GPS signálu a přichycena lepicí páskou. Zajištění hadic opět pomocí nylonových pásek k ramenu zpětného zrcátka a úchytu pracovních světel.

Poslední částí bylo upevnění akumulátorů elektrické energie (12 V), umístění měřicích zařízení a propojení jednotlivých členů. Pro napájení převodníku otáček, který měl vstupní napětí 230 V, byl použit napěťový měnič AC/DC z 12 na 230 V. Akumulátor byl umístěn na ploše pro přístup k vnější části kabiny a upevněn proti pohybu byl pomocí dvou kurt s ráčnami. Box s analyzátory a vzorkovač byly umístěny do prostoru kabiny v místě za sedačkou řidiče. Po zahřátí a inicializaci analyzátorů spolu se vzorkovačem bylo možné provést testovací provoz. Testování trvalo přibližně 20 min v areálu společnosti. Vše fungovalo, jediný problém byl se signálem od analyzátorů do vzorkovače, tento problém byl vyřešen v laboratoři univerzity. Jednalo se o prohození dvou ze tří vodičů signálu v zapojení do Datalabu.



Obr. 33 Uchycení akumulátoru, měnič napětí, převodník otáček a snímač tlaku (vlevo) a box plyných analyzátorů a vzorkovač (vpravo)

6.4 REALIZACE MĚŘENÍ

Po odzkoušení měření na Magnumu 340 se mohlo přistoupit k reálným měřením na Magnumu 290. Instalace proběhla ve večerních hodinách 16. 4. 2013 den před měřením, tak aby se neomezoval provoz stroje v době jeho největšího využití při jarních přípravách na polích.

Druhý den ráno po šesté hodině se provedla poslední kontrola funkčnosti měřicí aparatury, před výjezdem se spustil motor stroje, aby bylo možné inicializovat a zahřát měřicí zařízení. Následně se přešlo v rámci areálu společnosti k dotankování AdBlue, které trvalo cca 6 min, tankování paliva proběhlo již den předem. Následoval přejezd na první ze tří zpracovávaných zemědělských ploch (označena jako A).

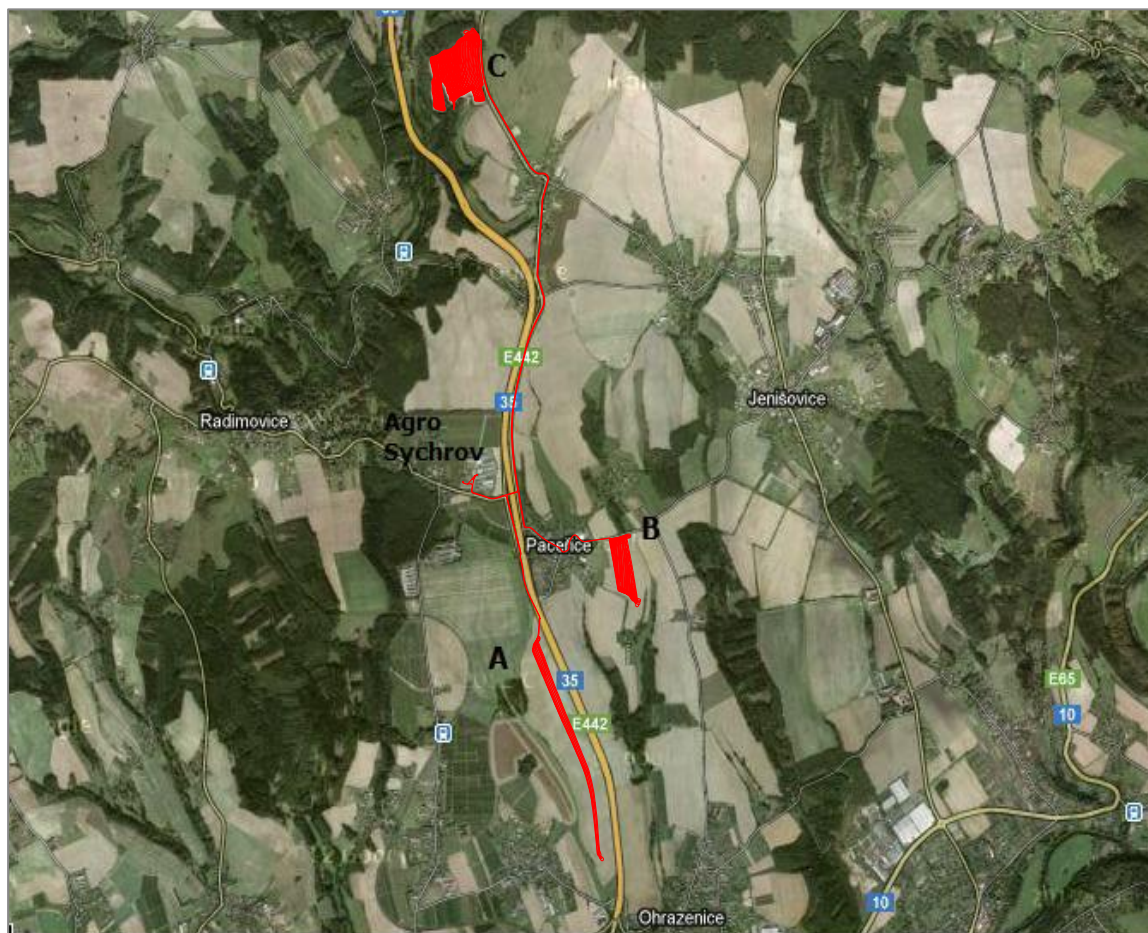
V rámci měřicího dne měl řidič se strojem za úkol připravit pole pro setí po zimě, kdy byla půda díky povětrnostním podmínkám utužená. Půda byla již posklizňově upravena v předešlém roce, zároveň proběhla před touto prací aplikace chemického hnojiva (nejčastěji se aplikuje dusík). Traktor byl osazen vpředu v tříbodovém závěsu závaží o hmotnosti 1200 kg pro rovnoměrné zatížení stroje, vzadu byl připojen tažený kultivátor Horsch Terrano 6 FX s pracovním záběrem 5,8 m, hmotností 5600 kg a požadovaným příkonem 175 – 240 kw. /39/



Obr. 34 Měřený traktor s přípojným zařízením

Ujeté vzdálenosti po veřejných komunikacích a po polích a polohy polí bylo možné vyhodnotit z uložených GPS údajů, viz obr. 35. Co se týká obsluhy měřicích zařízení, tak v případě analyzátorů je stačilo pouze ráno spustit, aby zaznamenávaly. Vzorkovač však vyžaduje stálou kontrolu, zapisování údajů do protokolu a výměnu filtrů zachycujících pevné částice. První filtr se umístil čistě jen pro zachycení PM při

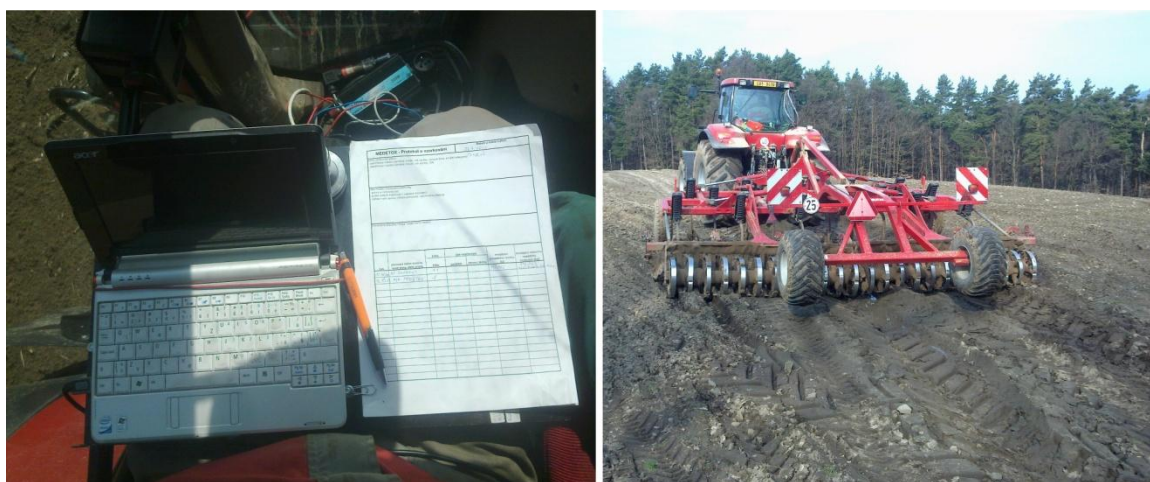
studeném startu, další se vkládaly již pro jednotlivé úseky práce nebo zvlášť pro



Obr. 35 Trasa měření a označení zpracovávaných ploch /38/

zajímavé úseky jako pro přejezd mezi poli nebo úseky se stoupáním, kde je předpoklad většího zatížení motoru. První pole bylo již rozpracované z předešlého dne a díky tomu bylo dokončeno kolem osmé hodiny. Přejezd na druhé pole byl krátký, a tak se nevzorkovalo. Druhé pole (B) bylo celkem rovné a nikterak složité, pracovalo se přibližně hodinu a na jeden filtr. Při přejezdu na poslední pole (C) se vzorkovalo. Na třetím poli začaly být komplikace s převodem otáček. Z důvodu toho probíhalo vzorkování chybně a tak nemohou být hodnoty z filtru, používaném v tuto dobu, použity. Při opravě převodníku byl zároveň z důvodu poklesu napětí první akumulátor vyměněn za druhý. Mezi jedenáctou a dvanáctou byla polední pauza. V práci se poté pokračovalo a byla dokončena před druhou hodinou, a následoval přejezd zpět do areálu společnosti. Při tomto přejezdu přestal systém počítat hodnoty MAF (množství plnicího vzduchu) a tak neprobíhalo vzorkování korektně a proto ani hodnoty z tohoto filtru nemohou být použity k vyhodnocení. Po odstavení stroje bylo

provedeno odinstalování aparatury, při němž se zjistilo pochybení při instalaci. Nebyla řádně upevněna sonda odsávání vzorku se sondou teploty pro analyzátor. Kovové ústí hadice za provozu vypadlo z výfuku a zachytilo se o ředící tunel vzorkovače, tím nebyla patrná závada při vizuální kontrole při měření. Kontrola na obrazovce analyzátorů nebyla při provozu možná, byla v místě, kde s ní nebyl vizuální kontakt. Vzorkovač však pracoval bez potíží. Po extrakci dat bylo zjištěno, že analyzátor naměřily 35 min počátku měření a správně nepracoval ani infračervený analyzátor, který zaznamenával nesprávné hodnoty CO a CO₂. Pro potřeby bakalářské práce však množství těchto dat postačuje.



Obr. 32 Obsluha vzorkovače (vlevo) a jízda zhoršenými podmínkami na poli C (vpravo)

7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Zpracování dat: Ze vzorkovače a analyzátorů byla získána data, která bylo zapotřebí dále zpracovat. Všechny filtry se zachycenými částicemi se zvážily a vypočítaly se rozdíly. První úkol byl přepočítat hodinovou spotřebu vzduchu a kumulativní množství nasátého vzduchu na hodnoty odpovídající měřenému stroji. V systému vzorkovače jsou nastaveny pevné hodnoty, tak aby bylo možné měřit široké spektrum motorů s rozdílnými parametry. Množství nasátého vzduchu bylo počítáno přes vzorce (17),(18), na základě známých parametrů motoru (zdvihový objem, kompresní poměr) a naměřených hodnot (tlak plnicího vzduchu, otáčky motoru), dopravní účinnost a teplota plnicího vzduchu byli uvažovány konstantní.

$$M_{vz} = \eta_d V_{zm} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \rho \frac{n}{30 \cdot \tau} 3600 \quad (17)$$

$$\rho = \frac{p}{rT} \quad (18)$$

Dopravní účinnost η_d (-):	Teplota plnicího vzduchu T (K):	Barometrický tlak p (kpa):	Měrná plynová konstanta (vzduch; spaliny) r (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹):
0,95	313,15	95	287; 289

Tab. 15 Konstantní hodnoty použitých veličin

Plynné analyzátory zaznamenávaly reálný průběh koncentrací *PM* (pouze však prvních cca 30 min). Celkovou produkci na úseky, rozdělené podle filtrů, bylo zapotřebí vypočítat dle uložených údajů ze vzorkovače. Použity byly přepočítané hodnoty MAF. Podmínky, při kterých byly filtry použity, jsou zaznamenány v tab. 16 a průběžné výsledky výpočtů pro jednotlivé filtry v tab. 17, konečné výsledky pak v tab. 18.

Po převážení filtrů a zjištění rozdílu hmotnosti (navážky) množství zachycených *PM* se vypočítala celková hmotnost *PM* na celkovou produkci výfukových plynů pro úsek daného filtru (19). Dále bylo zapotřebí vypočítat množství výfukových plynů, které byly vypuštěny za dobu vzorkování na daný filtr (20), to bylo provedeno sumací hodnot hodinové spotřeby vzduchu M_{vz} , převedeného na sekundovou spotřebu.

Hmotnostní tok vzduchu je takřka shodný s hmotnostním tokem výfukových plynů. Rozdíly jsou pouze v řádech procent (2-4 %), to díky molární dilataci. Na základě tohoto faktu byl hmotnostní tok nasávaného vzduchu přepočítán pomocí stavové rovnice ideálního plynu na objemový tok výfukových plynů, tlak je uvažován jako barometrický, teplota výfukových plynů byla zpočátku měření zaznamenávána a dále byla dopočítána v závislosti na tlaku nasávaného vzduchu, takto aproximované hodnoty byly postačující, neovlivňují natolik konečný výsledek.

$$m_4 = m_3 \frac{m_1}{m_2} \quad (19)$$

$$V_2 = \frac{\sum \frac{M_{vz} r T}{p}}{3600} \quad (20)$$

Výsledná produkce *PM* v g/m³ byla získána z podílu $\frac{m_4}{V_2}$. V případě přepočtu produkce *PM* na jednotky, v kterých jsou stanoveny limity legislativou, bylo zapotřebí

vypočítat hodnoty aktuálních výkonů aproximací z plnicího tlaku a otáček motoru (21). Díky nenaměřeným hodnotám CO_2 nebylo možné spočítat spotřebu paliva, tudíž ani spotřebovanou energii v kWh klasickým výpočtem. Aproximace proběhla na základě známých parametrů motoru (jmenovitý výkon 209 kW při otáčkách 2000 min^{-1} a plnicí tlak 250 kPa). Spotřeba energie A byla vypočítána sumací hodnot výkonu pro daný úsek přepočítaných na hodiny. Výsledná produkce pak jako podíl $\frac{m_4}{A}$.

$$P = P_{jm} \frac{p - p_{voln}}{p_{Pjm} - p_{voln}} \frac{n}{n_{jm}} \quad (21)$$

Dalším zpracováním hodnot byl přepočet hodnot NO_x z ppm na hodnoty v g/kWh. K tomu byl vypočítán molární tok výfukových plynů z objemového toku opět pomocí stavové rovnice i.p. (22). Pomocí poměru ppm byl tento tok přepočítán na molární tok NO_x a po vynásobení molární hmotností (uvažuje se pro NO_2 , $M = 46 \text{ g/mol}$) vyšel hmotnostní tok NO_x v g/h. Po vydělení výkonem byla produkce NO_x v g/kWh. Pro první dva úseky měření byla přepočítána celková produkce. To bylo opět provedeno sumací přepočítaných hodnot hmotnostního toku NO_x (23) a následným vydělením spotřebovanou energií A na daný úsek.

$$\dot{n} = \frac{p\dot{V}}{rT} \quad (22)$$

$$m_{\text{NO}_x} = \frac{\sum M_{\text{NO}_x}}{3600} \quad (23)$$

Filtr:	23	22	21	20	19	15	13	12	11	1
Režim motoru:	studený start	zatížení 90 - 100 %, otáčení 30 %			zatížení 100-106 %	zatížení 20-80 %	zatížení 90 - 105 % (otáčení 30 %)			
Popis provozu:	přejezd na A	brázda oběma směry	pouze při klesání	pouze při stoupání	celé pole	Přejezd na C 4km	kombinace směrů, pohyb po vrstevnicích		místa zhoršené podmínky	
Pole:	-	A			B	-	C			
Stoupání /klesání/:	/4 %/	2%			-	2,5%	-			

Tab. 16 Podmínky měření rozdělené podle filtrů

Souhrnné výsledky:

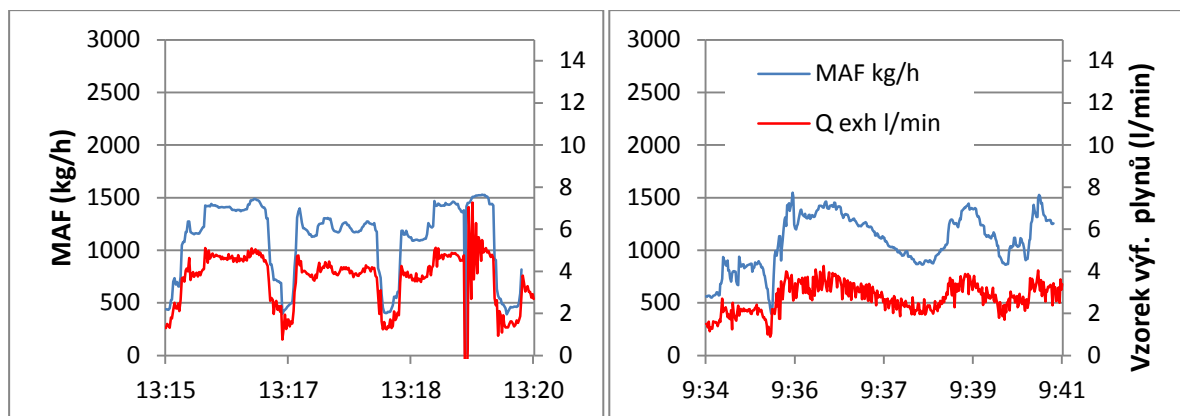
	Pracovní označení filtru:	Nasátý vzorek V_1 (dm ³):	Nasátý vzorek m_1 (g):	Váha filtru (μ g) teplota, vlhkost při měření		Navážka m_3 (μ g):	MAF m_2 (kg):
				před expozicí 18,5°C, 27% :	po expozici 19,5°C, 38% :		
1.	23	45,04	58,103	87 548	87 989	441	92,20
2.	22	64,73	83,497	90 646	106 347	15 701	333,98
3.	21	86,35	111,39	89 284	89 541	257	532,26
4.	20	77,33	99,757	88 964	89 097	133	480,96
5.	19	197,01	254,14	89 808	90 034	226	1306,58
6.	15	24,42	31,5	89 866	90 972	1 106	160,25
7.	14	x	x	89 067	89 281	214	x
8.	13	92,98	119,94	90 075	90 286	211	636,65
9.	12	151,39	195,3	88 250	88 625	375	727,58
10.	11	147,60	190,4	88 927	89 120	193	738,67
11.	1	111,52	143,86	86 843	87 056	213	729,13
12.	2	x	x	86 784	86 922	138	x

Tab. 17 Naměřené hodnoty pro jednotlivé filtry

	Pracovní označení filtru:	m_2 (kg) / m_1 (kg) (-):	Navážka pro celkovou produkci m_4 (g):	Hmotnostní koncentrace PM ve výfukových plynech (g.m ⁻³):	Výfukové plyny V_2 (m ³):	A (kWh):	Produkce PM ve výfukových plynech (g.kWh ⁻¹):	Nox (g.kWh ⁻¹):
1.	23	1586,86	0,6998	0,0090	77,57	2,54	0,2750	0,5262729
2.	22	3999,93	x	x	280,99	48,17	x	0,055369
3.	21	4778,28	1,2280	0,0027	447,81	76,41	0,0161	x
4.	20	4821,30	0,6412	0,0016	404,65	71,36	0,0090	x
5.	19	5141,12	1,1619	0,0011	1099,28	175,30	0,0066	x
6.	15	5087,41	5,6267	0,0417	134,83	16,91	0,3328	x
7.	14	x	x	x	x	x	x	x
8.	13	5307,98	1,1200	0,0021	535,64	86,87	0,0129	x
9.	12	3725,46	1,3970	0,0023	612,14	98,76	0,0141	x
10.	11	3879,55	0,7488	0,0012	621,48	95,48	0,0078	x
11.	1	5068,31	1,0795	0,0018	613,45	91,86	0,0118	x
12.	2	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 18 Průběžné a konečné výsledky produkce PM a NO_x

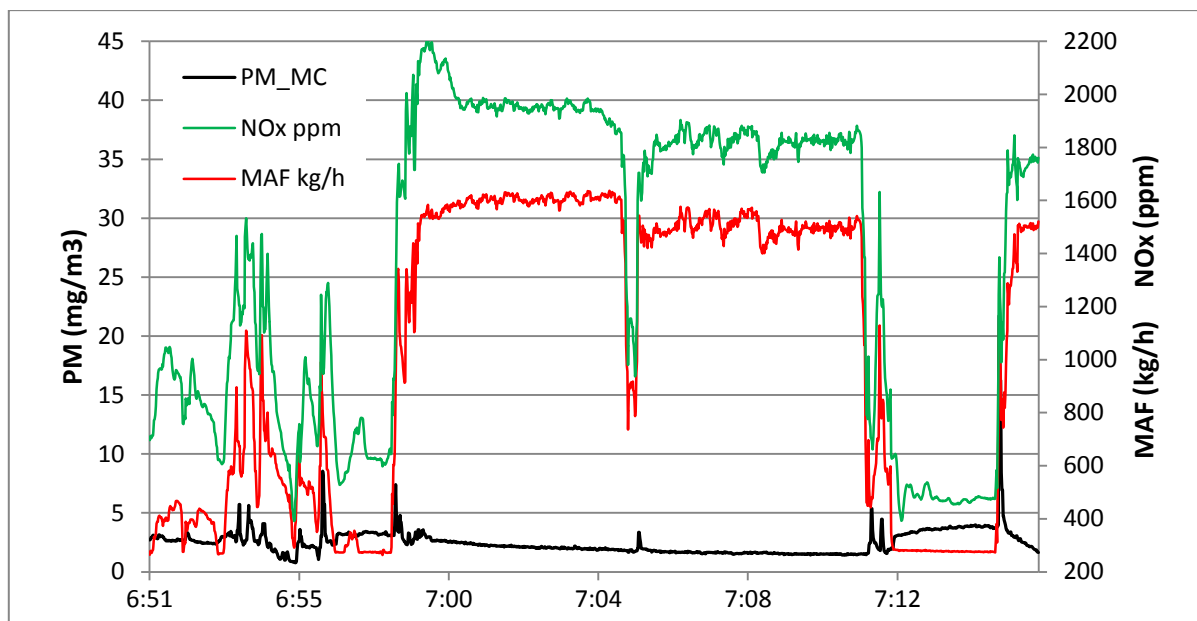
Přesnost vzorkování byla uspokojivá, grafy přesnosti odběru vzorku výfukových plynů u vzorkovače ve stanoveném poměru k toku plnicího vzduchu do motoru jsou vyobrazeny v obr. 33. Patrné jsou občasné menší náhodné oscilace způsobené vyrovnáváním průtoků podávací a odsávací části.



Obr. 33 Grafy přesnosti vzorkování - přesná shoda (vlevo) a dobrá shoda (vpravo)

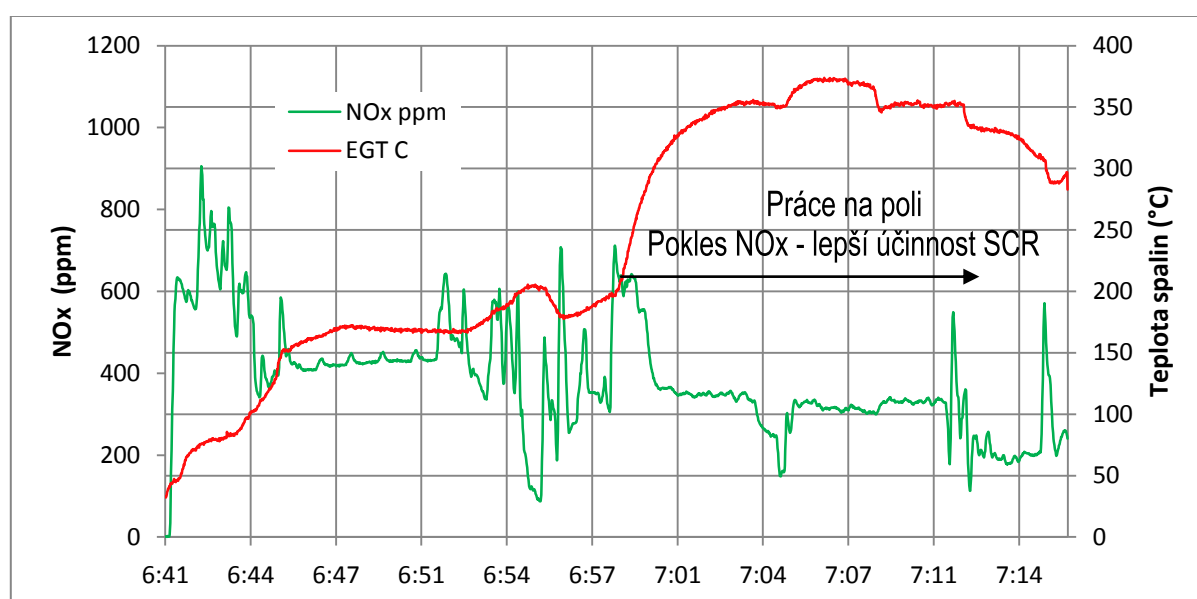
Vyšší produkce pevných částic v případě filtru 23 byla způsobena nejpravděpodobněji studeným startem motoru a především přejezdem na první pole A. Navážka filtru 22 je příliš podezřelá na to, aby ji bylo možné brát vážně, motor byl již zahřátý na provozní teplotu a měření trvalo jen 14 minut, kdy se jela brázda na poli A jednou tam a zpět, nebyly zaznamenány ani žádné provozní komplikace stroje, při kterých by se dalo předpokládat zvýšení produkce *PM*. Navíc analyzátory v tuto dobu ještě snímaly koncentrace *PM* a také nezaznamenaly žádný narůst produkce. Filtry 21 a 20 se měnily pro dva různé typy zatížení. **Z výsledků je patrné, že při vyšším zatížení motoru je aktuální produkce pevných částic nižší.** Tomu odpovídají i filtry 19, 13, 12, 11 a 1, kde se při jízdě na poli pracovalo v plném zatížení a pouze při otáčení a přejezdech kleslo zatížení na cca 30%. Např. při měření na poli A trvala jedna brázda cca 6 min. a otáčení přibližně 20-30 s. Produkce při přejezdu, v rámci filtru 15 byla mnohonásobně vyšší. Zatížení motoru se měnilo a nebylo tak vysoké. V grafu na obr. 34 jsou patrné tyto rozdíly, šlo o úsek příjezdu na pole (filtr 23) do cca 6:57 a první dvě brázdy (filtr 22), kdy ještě analyzátory zaznamenávaly aktuální koncentrace *PM*.

Zvýšená koncentrace pevných částic při nižším zatížení motoru je nejpravděpodobněji způsobena základním nastavením motoru. Navrhnutý je právě pro vysoké zatížení, v kterém pracuje nejvíce, a to tak, aby při něm nedocházelo k takové emitaci pevných částic. Při nižších otáčkách je palivo vstříknuté pod nižším tlakem a nedojde tak k dokonalé homogenizaci směsi. Dále jsou i při nižších otáčkách nižší reakční teploty, díky nimž nedojde k dostatečně rychlému a úplnému dohoření paliva (reakčně-kinetický mechanismus), vznikají tak nespálené uhlovodíky.



Obr. 34 Koncentrace pevných částic a NO_x v různých režimech motoru

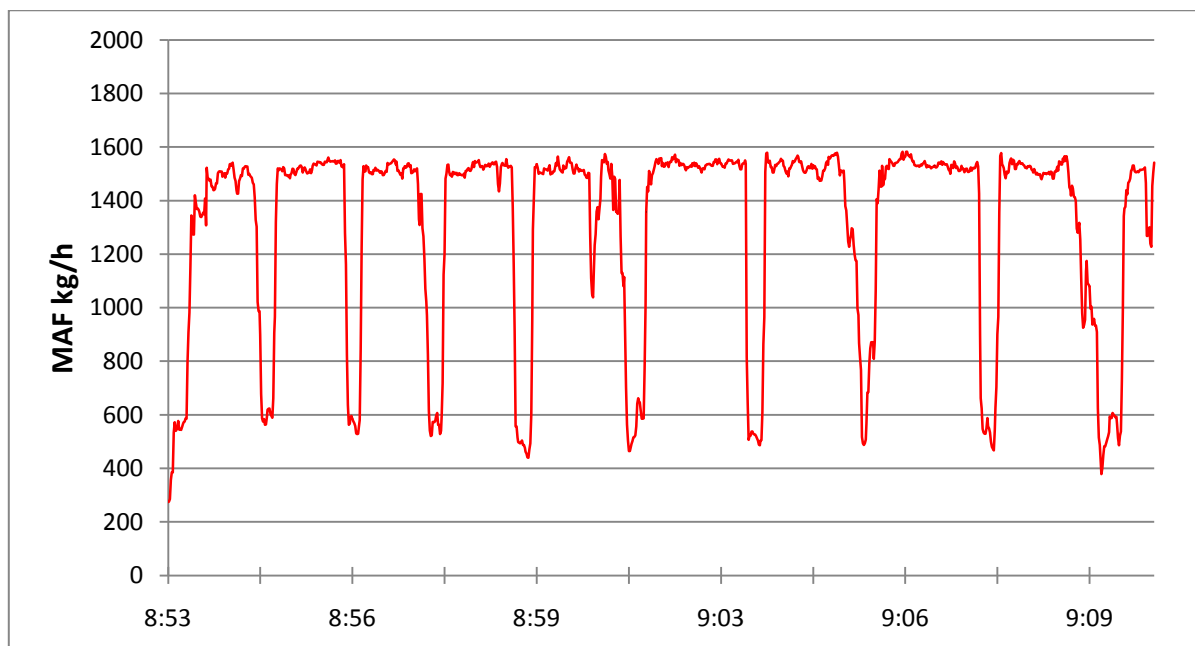
Co se týká koncentrací NO_x , tak ty jsou závislé především na teplotě spalování, tedy čím vyšší je zatížení motoru, tím vyšší jsou i koncentrace NO_x (zmrazování koncentrace), v grafu na obr. 34 je to na první pohled patrné. Navíc je opět tento motor nastaven tak, aby dosahoval co nejvyššího výkonu a kroutícího momentu bez ohledu na tvorbu oxidů dusíku, které jsou dodatečně sníženy pomocí SCR. Nežli však došlo k dostatečnému ohřevu katalyzátoru, produkoval traktor větší množství oxidů dusíku.



Obr. 35 Graf závislosti tvorby NO_x na teplotě spalin

Závislost produkce NO_x na teplotě výfukových plynů je patrná z grafu na obr. 35. Po studeném startu je produkce NO_x vyšší, nežli po zahřátí SCR. Pokud dosáhne katalyzátor SCR systému teploty $200^\circ C$, začne se vstříkovat takové množství AdBlue k redukci NO_x , že se zvyšuje jeho účinnost na dostatečnou úroveň. Toto zahřátí se dá očekávat s určitou časovou prodlevou oproti teplotě výfukových plynů vycházejících z výfuku. Zvýšení teploty výfukových plynů na hodnotu $200^\circ C$ trvalo patnáct minut. Prvních deset minut traktor popojížděl a stál při volnoběhu v areálu a posledních pět minut k zahřátí výfukových plynů na tuto teplotu se pohyboval po veřejné komunikaci. 100 % účinnosti však dosahuje SCR systém až při nejvyšších teplotách pohybujících se nad $300^\circ C$.

Dalším přínosem této práce je zobrazení průběhu zatížení, které dokáže traktorový motor udržet v maximálních hodnotách takřka konstantní. Na obr. 36 je znázorněna část práce na poli B. V tomto úseku se ve vzorkovači prosávalo přes filtr č. 19. Jedna podélná brázda trvala cca 1,5 minuty při rychlosti 14 km/h a zatížení podle interního systému stroje se pohybovalo kolem 100 % (v grafu maximální hodnoty toku plnicího vzduchu). Otočení pak trvalo 15 - 20 sekund se zvednutým přípojným zařízením (nezpracovávalo půdu) a zatížení se pohybovalo mezi 25 - 40 %. Na mapě obr. 37 je tento pohyb na poli B zaznamenán pomocí GPS.



Obr. 36 Téměř konstantní plné zatížení motoru



Obr. 37 Trasa při měření na poli B /38/

Celkové výsledky měření za dobu vzorkování jsou vyobrazeny v tab. 19. Celková produkce pevných částic vyhovuje předepsaným limitům pro tento motor, viz tab. 6 na str. 26. Touto produkcí by motor plnil s předstihem i nejnovější etapu IV (v případě *PM* a *NO_x*, hodnoty dalších sledovaných složek nebyly naměřeny). Produkce *PM* v případě přejezdů a režimů s nižším zatížením je ale mnohonásobně překročena, jelikož však tyto režimy odpovídají malému procentu z celkového provozu, jsou výsledné hodnoty s dostatečně velkou rezervou splněny. Stejně tak je tomu i v případě *NO_x*. Spotřeba paliva je počítána při měrné spotřebě 210 g/kWh a při hustotě paliva 840 kg/m³. /5/

Délka měření (min):	Spotřebovaná energie (kWh):	Celkem vypuštěných výf. plynů(kg):	Celkem vypuštěných PM (g):	Najetá trasa (km):	Průměrná rychlost (km/h):
166,5	715	5404	13,7	36,51	13,15
Celková produkce PM (g/kWh):	Celkem spotřebovaného paliva (l):				
0,019	178,75				

Tab. 19 Celkové výsledky měření - nejsou započítány hodnoty při vzorkování na filtry 14, 22 a 2

8 ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce jsem před samotnou experimentální částí postupně přiblížil problematiku výfukových emisí emitovaných spalovacími motory s orientací na vznětové agregáty. V rámci výfukových emisí jsem zde popsal jak mechanismy vzniku a dopady na životní prostředí a člověka, tak i vývoj a současnou tendenci legislativních omezení. Vše se zaměřením na stále více diskutované odvětví mobilních zdrojů škodlivých látek, nesilniční motory - konkrétně na zemědělské a lesnické traktory. V případě legislativy jsem vycházel především z norem evropského společenství. Ve snaze co nejlépe vysvětlit problematiku polutantů nesilniční dopravy jsem porovnával většinu informací se silniční dopravou.

Dále jsem se snažil popsat současné trendy v konstrukci a v technologiích týkajících se výfukových plynů u traktorů. Jde o poměrně nově zavedené úpravy u tohoto odvětví mobilních zdrojů emisí. Do traktorových motorů se instalují technologie ke snižování emisí převzaté ze silniční dopravy a odlaďují se tak, aby byly účinné i v jiných provozních režimech motorů. Na základě toho, do jaké míry jsou schopny tyto systémy snižovat hodnoty emisí v reálných podmínkách, jsem navrhl provést experimentální měření právě na traktorovém motoru.

Experimentální měření pro mě bylo samo o sobě velkou zkušeností. Zjistil jsem, jakým způsobem se odebírají a zpracovávají vzorky výfukových plynů měřicími přístroji. Přínosem pro mě byla jak aktivní účast na celém procesu měření emisí, tak především jejich vyhodnocení.

Co se týká výsledků měření, je zřejmé, že se současný postoj k emisím nesilničních motorů pozitivně projevil na jejich celkové produkci emitovaných škodlivin. Otázkou však zůstává, zda by neměl být kladen větší důraz na dílčí zvýšené produkce v režimech zahřívání motoru a systémů výfukového traktu (SCR) a v režimech přejezdů po veřejných komunikacích. V drtivé většině případů se traktory při těchto režimech pohybují v obydlených oblastech, stejně tak tomu bylo i v případě tohoto experimentálního měření. Dostatečně nízké produkce pak dosahují tyto motory až při práci na polích (v lese) v plném zatížení, na místech s celkově nízkými koncentracemi škodlivin v ovzduší. Do budoucna tak lze očekávat krom dalšího snižování limitů spíše úpravy testovacích cyklů, které jsou součástí typizování motorů. Ty by nutily výrobce k jiným nastavením motorů a ke kombinaci několika systémů dodatečné úpravy spalín najedou (DPF, SCR, DOC apod.).

Seznam použité literatury

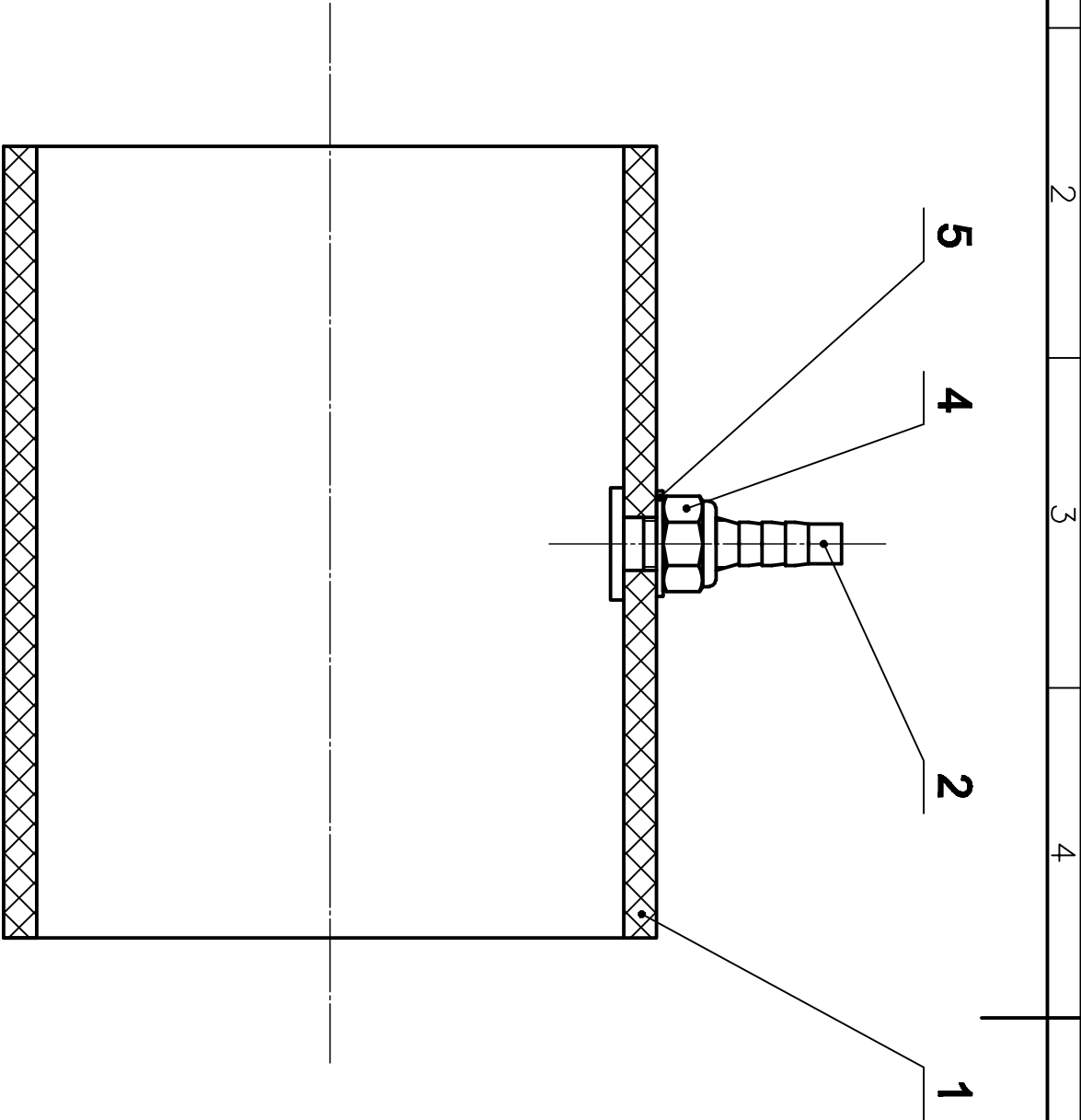
1. TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1997, 111 s. ISBN 80-010-1632-3. URL:
http://www.magnaflow.com/02catalytic_converters/04basics/04converter.asp
2. CATALYTIC CONVERTERS. *MagnaFlow's* [online]. 2012 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z:
http://www.magnaflow.com/02catalytic_converters/04basics/04converter.asp
3. *Emise výfukových plynů* [online]. 2012 [cit. 2012-12-21]. ISSN ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
4. *Emise ve výfukových plynech* [online]. TU v Liberci, 2004 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z:
http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/VM_Sem/Emise%20ve%20vyfukovych%20plynech%20PSM_2013.pdf. Školní text. TU v Liberci.
5. [Http://www.unipetrol.cz/](http://www.unipetrol.cz/). *Unipetrol* [online]. 2012 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z:
<http://www.unipetrol.cz/cs/nabidka-produktu/rafinerske-produkty/motorova-paliva/motorova-nafta.html>
6. *Agri CS: zemědělské stroje* [online]. 2011- [cit. 2013-01-15]. Dostupné z:
<http://www.agrics.cz/>
7. *Předpis č. 49 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN): výběr pro předmět Experimentální metody: Měření emisí silničních motorů*. TU v Liberci, 2008. Školní text. TU v Liberci.
8. *Automotive handbook*. 6th ed. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2004, 1232 s. ISBN 18-605-8474-8.
9. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 97/68/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 1997. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
10. Evropská hospodářská komise OSN. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-18]. Dostupné z:


http://cs.wikipedia.org/wiki/Evropsk%C3%A1_hospod%C3%A1%C5%99sk%C3%A1_komise_OSN

11. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2000/25/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 2000. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
12. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2005/13/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 2005. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
13. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2004/26/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 2004. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
14. NÁVRH LEGISLATIVNÍHO USNESENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU. *Evropský parlament* [online]. 2011 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A7-2011-0080&language=CS#_part1_def1
15. PRACOVNÍ DOKUMENT ÚTVARŮ KOMISE: Návrh SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY. *Evropský parlament* [online]. 2007 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/sec/2007/0056/COM_SEC\(2007\)0056_CS.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/sec/2007/0056/COM_SEC(2007)0056_CS.pdf)
16. Směrnice Komise 2010/26/EU. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 2010. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
17. Směrnice Evropského parlamentu a rady 77/537/EHS. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 1977. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
18. Směrnice Evropského parlamentu a rady 2003/37/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 2003. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
19. Směrnice Evropského parlamentu a rady 2011/87/EU. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Brusel, 2011. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/>
20. *DieselNet: Online information service on clean diesel engines and diesel emissions* [online]. 1997- [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.dieselnets.com/>

21. *FPT Industrial: off-road engine* [online]. 2011- [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.fptindustrial.com>
22. *Vědeckotechnický sborník 31/2011: Limity plynných emisí dráhových motorů a způsoby jejich snižování* [online]. 2011 [cit. 2013-04-02]. ISSN ISSN 1214-9047. Dostupné z: <http://www.cdtrail.cz/VTs/vts31.html>
23. *Životní prostředí. Zetor* [online]. 2009- [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz/zivotni-prostredi>
24. CASEY, Derek. Don't let emissions jargon bring a Tier to your eye. *Farmers Journal* [online]. 2010, 13/11 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.farmersjournal.ie/site/farming-Don-t-let-emissions-jargon-bring-a-Tier-to-your-eye-12013.html>
25. *John Deere* [online]. 2013 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: www.deere.com
26. EGR cooler. *Korens Inc.* [online]. 1997- [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: http://korens.en.ec21.com/EGR_cooler--575643_575660.html
27. AGRAM. *Firemní literatura: Prospekty*. Německo, 2011-.
28. WAKELY, Martin. *Massey Ferguson informační věstník 04 – 11*. AGCO Internal a MF International, 2011.
29. Diesel Oxidation Catalyst (DOC). *Enginecontrolsyste.ms* [online]. 2007 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.enginecontrolsyste.ms.com/prod-doc.aspx>
30. *Emisní norma Tier 4i: jak fungují nové motory v zemních strojích a na co si dát pozor* [online]. 2011 [cit. 2013-05-03]. ISSN 1801-0768. Dostupné z: http://bagry.cz/clanky/technika/emisni_norma_tier_4i_jak_funguji_nove_motor_y_v_zemnich_strojich_a_na_co_si_dat_pozor#
31. *Agco Power* [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.agcopower.com>

32. DVOŘÁK, Jiří, Antonín KABEŠ a Tomáš KUČTA. *Výkonnost práce malých vyvážecích traktorů*. Fakulta lesnická a dřevařská v Praze, 2010. Studie. Fakulta lesnická a dřevařská v Praze.
33. SKF Agri Hub. *SKF Group* [online]. 2007 [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/680682.pdf>
34. Znečištění ovzduší z dopravy. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2012 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/znečisteni_ovzdusi_dopravy
35. *Český statistický úřad* [online]. 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.czso.cz>
36. *Český hydrometeorologický úřad* [online]. 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz>
37. FPT Powertrain Technologies - Motorářský obr. *Automobil revue* [online]. 2008, 10/08 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/novinky/fpt-powertrain-technologies-motorarsky-obr_33488.html
38. *Mapy Google* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://maps.google.cz>
39. Horsch Terrano FX. *Pekass* [online]. 2012 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.pekass.eu/produkty/zemedelska-technika/horsch/stroje-na-zpracovani-pudy/radlickove-kyprice/horsch_terrano_fx_29.html



Rozm. – Polot.								PŘESNOST ISO_2768 – MK	
			c)		Mater.		Tr. odp.	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
			b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ
			a)						
	Změna	Datum	Index	Podpisy	<div> TU v Liberci</div>				
Měřítko	Pozn.	Navrh							
1:1		Kreslil	JAN_MERTLIK	Název					
		Přezkoušel			SESTAVA_SPOJKA				
Č. seznamu		Technolog		Typ	Čís. výkresu				
Č. sestavy		Normaliz.							
Starý výkr.		Schválil			KVM – BP – 294				
Nový výkr.		Datum	14.05.2013		List 1				

1		2		3		4	
ODK.	OZNAČENÍ		POLOTOVAR	ČÍS. ZÁSOBNÍKU	MN.		
	VÝKRES		MATERIÁL	POZNÁMKA	JED.		
1	HADICE_ø89-120		MVQ	STAND._ROZMĚR	1		
2	PŘIPOJKA_HADICE		ø18-50-ČSN_5510.12		1		
	KVM-BP-294.01		11_373		KS		
3							
4	POJISTNÁ_MATICE_M8				1		
	ISO_7040-8				KS		
5	PODLOŽKA_8				1		
	ISO_7089-8				KS		
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							

Změna		Datum	Index	Podpisy
Měřítko	Pozn.	Navrhl		
N		Kreslil	JAN_MERTLIK	Název
		Přezkoušel		SESTAVA_SPOJKA
Č.seznamu		Technolog		Typ
Č.sestavy	KVM-BP-294	Normaliz.		čís.výkresu
Starý výkr.		Schválil		KVM-BP-294
Nový výkr.		Datum	14.05.2013	List 2

